



Efecto del entrenamiento de fuerza de baja y alta velocidad intencional sobre las funciones ejecutivas en niños: un ensayo controlado aleatorizado

Effect of low and high intentional velocity strength training on executive functions in children: a randomized controlled trial

Autores

Manuel Jesús Jiménez Roldán¹,
Manuel Chavarrias Olmedo¹

¹Escuela Universitaria de Osuna
(España)

Autor de correspondencia:
Manuel Chavarrias Olmedo
manuelco@euosuna.org

Cómo citar en APA

Jimenez Roldán, M. J., & Chavarrias Olmedo, M. (2025). Efecto del Entrenamiento de Fuerza de Baja y Alta Velocidad Intencional sobre las Funciones Ejecutivas en Niños: Un ensayo controlado aleatorizado. *Retos*, 68, 201-211.
<https://doi.org/10.47197/retos.v68.113321>

Resumen

Introducción: Aunque se ha demostrado que la actividad física mejora el rendimiento cognitivo infantil, el impacto específico de la velocidad de ejecución en el entrenamiento de fuerza sobre las funciones ejecutivas sigue sin aclararse. Este estudio investigó cómo la velocidad de ejecución en el entrenamiento de fuerza influye en estas funciones en niños.

Objetivo: El objetivo fue investigar el impacto de la velocidad de ejecución durante el entrenamiento de fuerza sobre las funciones ejecutivas en niños.

Metodología: 31 niños (edad media 10,06 ± 1,54 años) fueron asignados aleatoriamente a tres grupos: entrenamiento de fuerza a baja velocidad (LVRT), alta velocidad (HVRT) y control (GC). Las funciones ejecutivas se evaluaron antes y después de 8 semanas de entrenamiento (3 sesiones semanales) utilizando las pruebas Stroop, digit span y Wisconsin Card Test.

Resultados: En el control inhibitorio, HVRT mostró mejoras significativas en tiempo y respuestas correctas, con diferencias respecto al GC. En memoria de trabajo, ambos grupos HVRT y LVRT mejoraron en el número de palabras correctas en orden inverso, con diferencia significativa respecto al GC. En flexibilidad cognitiva, ambos grupos mejoraron, pero solo LVRT redujo significativamente los errores.

Discusión: Los resultados coinciden con estudios previos que muestran mejoras en funciones ejecutivas tras el entrenamiento de fuerza, especialmente a alta velocidad. Estos hallazgos sugieren que la velocidad de ejecución podría ser clave para optimizar los beneficios cognitivos, especialmente en control inhibitorio y memoria de trabajo.

Conclusiones: Ambos tipos de entrenamiento mejoraron la flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo, pero solo el entrenamiento a alta velocidad mejoró el control inhibitorio, sin diferencias con el entrenamiento a velocidad constante.

Palabras clave

Entrenamiento de fuerza; capacidad cognitiva; funciones ejecutivas; niños.

Abstract

Introduction: Although physical activity has been shown to improve children's cognitive performance, the specific impact of execution speed in strength training on executive functions remains unclear. This study investigated how execution speed in strength training influences these functions in children.

Objective: The aim was to investigate the impact of execution speed during strength training on executive functions in children.

Methodology: Thirty-one children (mean age 10.06 ± 1.54 years) were randomly assigned to three groups: low-speed strength training (LVRT), high-speed strength training (HVRT), and control (GC). Executive functions were evaluated before and after 8 weeks of training (3 sessions per week) using the Stroop test, digit span, and Wisconsin Card Sorting Test.

Results: In inhibitory control, HVRT showed significant improvements in time and correct responses, with differences compared to the GC. In working memory, both HVRT and LVRT improved in the number of correct words in reverse order, with a significant difference compared to the GC. In cognitive flexibility, both groups showed improvement, but only LVRT significantly reduced errors.

Discussion: The results align with previous studies showing improvements in executive functions after strength training, particularly at high speed. These findings suggest that execution speed may be key to optimizing cognitive benefits, particularly in inhibitory control and working memory.

Conclusions: Both types of training improved cognitive flexibility and working memory, but only high-speed training improved inhibitory control, with no differences compared to constant-speed training.

Keywords

Children; executive function; strength training; children.

Introducción

El desarrollo cognitivo en los niños es un importante proceso que implica cambios fundamentales en la forma en que piensan, comprenden y responden a su entorno. A medida que desarrollan habilidades como la atención, la memoria, la lógica y la resolución de problemas, los niños mejoran su capacidad para interactuar exitosamente en diversos contextos. Este desarrollo cognitivo está estrechamente vinculado a la inteligencia y los procesos mentales, progresa a medida que los niños aprenden e impacta positivamente en su rendimiento académico (Orozco-Hormaza et al., 2011).

El cerebro de los niños experimenta un crecimiento y desarrollo diferenciado con el tiempo, con la maduración de regiones específicas relacionadas con habilidades cognitivas particulares. Entre ellas, destaca la corteza prefrontal, donde se sitúan las funciones ejecutivas como la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva (Diamond, 2013). Estas funciones ejecutivas son habilidades de orden superior que permiten la planificación, la toma de decisiones y la autorregulación del comportamiento, contribuyen significativamente al desarrollo cognitivo infantil y tienen un impacto directo en el rendimiento académico. El desarrollo de las funciones ejecutivas presenta una evolución marcada con la edad, y los 9 años representan un punto de inflexión significativo (Dajani & Uddin, 2015).

Diversos factores influyen en el desarrollo y la maduración de las funciones ejecutivas en los niños, como el descanso, el aprendizaje de un segundo idioma, tocar instrumentos musicales y la actividad física, entre otros (Blair, 2016). Además, se sabe que las funciones ejecutivas desempeñan un papel importante en el desarrollo motor. En consecuencia, los déficits en estas funciones durante la infancia pueden generar problemas en el control motor y la ejecución de acciones, afectando directamente la capacidad para realizar movimientos precisos (Riva et al., 2013).

Por estas razones, en los últimos años crece el interés por comprender el impacto de la actividad física en la función cognitiva, específicamente en las funciones ejecutivas, entre jóvenes en edad escolar. En este contexto, el entrenamiento de fuerza surge como una intervención potencial que va más allá de los beneficios ampliamente establecidos para la salud física. Aunque la literatura resalta consistentemente los efectos positivos del ejercicio aeróbico en las funciones ejecutivas, el papel del entrenamiento de fuerza, caracterizado por contracciones musculares contra resistencia externa, gana reconocimiento por sus mecanismos fisiológicos y neurobiológicos únicos (Robinson et al., 2023).

En el contexto infantil, se enfatiza la efectividad de los programas de entrenamiento de actividad física aeróbica para mejorar la cognición y las funciones ejecutivas. Además, la combinación de actividad aeróbica simple con desafíos cognitivos demuestra ser particularmente beneficiosa para la angiogénesis neuronal y la neurogénesis, influyendo positivamente en la memoria y el aprendizaje. Sin embargo, la intensidad del entrenamiento, más que la duración, emerge como un factor trascendental para mejorar la memoria de trabajo y la concentración, aspectos esenciales para el rendimiento académico (De Greeff et al., 2018). Aunque la mayoría de los estudios se han centrado en poblaciones adultas, los hallazgos obtenidos en adultos jóvenes —como los reportados por Stroth et al. (2009), Asamoah et al. (2013) y Stroth et al. (2010)— indican que el entrenamiento aeróbico regular puede favorecer la atención, la concentración, la flexibilidad cognitiva y el control inhibitorio, siendo estos resultados atribuidos en parte al incremento del VO₂max (Krames et al., 1999; Colcombe et al., 2004). No obstante, trabajos como los de Etnier et al. (2006) y Ludyga et al. (2020) plantean que el aumento de la capacidad física explica solo una fracción limitada de la variabilidad cognitiva, lo que sugiere que otros mecanismos, aún poco explorados, podrían estar implicados.

En contraste, el entrenamiento de fuerza ha recibido considerablemente menos atención en la literatura infantil, a pesar de que estudios en adultos jóvenes han evidenciado que tanto el ejercicio multiarticular como el monoarticular, especialmente cuando se realiza a alta velocidad, puede inducir mejoras agudas en el control inhibitorio (Brush et al., 2016; Tsukamoto et al., 2017). Intervenciones de fuerza de mayor duración también han mostrado efectos positivos en funciones ejecutivas, como se observa en el metaanálisis de Ludyga et al. (2020). Además, estudios como el de Chow et al., (2021) sugieren que este tipo de entrenamiento pueden generar cambios neurobiológicos y hormonales, afectando a la estructura y función cerebral. Sin embargo, en niños y adolescentes, la investigación sobre los efectos del entrenamiento de fuerza en la cognición es aún incipiente, lo que deja un vacío importante en la comprensión de su potencial impacto durante etapas críticas del desarrollo. Esta carencia de evidencia subraya la necesidad de explorar con mayor profundidad cómo distintas modalidades de ejercicio físico —más allá



del componente aeróbico— pueden contribuir al desarrollo de las funciones ejecutivas en la infancia, y cómo factores como la intensidad, la estructura del entrenamiento o la combinación con estímulos cognitivos pueden modular estos efectos.

A partir de esta necesidad, surgen las siguientes preguntas de investigación: ¿Qué efecto tiene un programa de entrenamiento de fuerza en las funciones ejecutivas de los niños? ¿Existen diferencias en dicho efecto según la velocidad de ejecución del ejercicio, ya sea baja o máxima intencional? Como hipótesis principal, se plantea que ambos tipos de entrenamiento de fuerza generarán mejoras en las funciones ejecutivas, pero que el entrenamiento ejecutado a velocidad máxima intencional producirá beneficios significativamente mayores en la memoria de trabajo, el control inhibitorio y la flexibilidad cognitiva, en comparación con el realizado a baja velocidad.

A pesar de estos resultados, la influencia de la intensidad del entrenamiento de fuerza en las funciones ejecutivas en los niños aún no se comprende completamente. Por lo tanto, dado los efectos positivos conocidos del entrenamiento de fuerza tanto a nivel físico como cognitivo en los niños, el objetivo de esta investigación es analizar el efecto de un programa de entrenamiento de fuerza, ejecutado a baja velocidad en comparación con la velocidad máxima intencional, en las funciones ejecutivas de los niños.

Método

Participantes

Treinta y nueve niños saludables, 22 niños y 17 niñas, participaron en el estudio (edad: $10,05 \pm 1,1$ años, peso corporal: $46,3 \pm 14,2$ kg, estatura: $145,6 \pm 10,8$ cm) (Tabla 1). Los criterios de inclusión establecían que los participantes debían ser niños entre 6 y 12 años. Se excluyó a aquellos que presentaban alguna de las siguientes condiciones: enfermedades, prescripción de algún tipo de medicamento, estar recibiendo terapia psicológica, practicar ejercicio físico planificado, o tener alteraciones en el desarrollo motor o cognitivo. Tanto los participantes como sus padres fueron informados sobre los procedimientos y riesgos experimentales, y firmaron un documento de consentimiento informado antes del inicio de la investigación. El estudio se llevó a cabo en conformidad con la Declaración de Helsinki para Experimentación Humana, y el protocolo del proyecto fue aprobado por el comité de ética de la Universidad de Sevilla (referencia 0553-N-22).

Tabla 1. Características descriptivas y datos antropométricos de los niños participantes.

| Variables | LVRT | HVRT | CG | p valor |
|-------------|-------------------|--------------------|--------------------|---------|
| | Media \pm DT | Media \pm DT | Media \pm DT | |
| Edad (años) | 10.36 ± 1.80 | 9.90 ± 1.52 | 9.9 ± 1.37 | .911 |
| Peso (kg) | 46.87 ± 14.8 | 41.31 ± 13.60 | 50.81 ± 15.07 | .969 |
| Altura (cm) | 146.50 ± 9.51 | 144.15 ± 12.51 | 146.21 ± 11.20 | .492 |

Medidas

Funciones ejecutivas

El control inhibitorio se evaluó mediante el Stroop Test (ST) (Golden, 2020), una prueba neuropsicológica que mide la interferencia en el desempeño de tareas. En este estudio, se utilizó la versión digital conocida como versión Victoria (Mueller et al., 2014). La prueba consta de tres partes, cada una con 24 estímulos. En ella, aparece una lista de palabras que representan colores, pero están escritas en un color diferente al significado de la palabra. Los participantes debían seleccionar el color de la tinta, no el significado de la palabra. Esta es la fase donde ocurre la interferencia, y los participantes debían inhibir la tendencia de una respuesta automática. Las variables analizadas incluyeron el número de respuestas correctas (ST-I) y el tiempo empleado (ST-T).

En relación a la flexibilidad cognitiva se evaluó mediante el Wisconsin Card Sorting Test (WCST) (Grant & Berg, 1948). La prueba consta de dos conjuntos de 64 cartas, cada una con diversas combinaciones de 4 formas geométricas, 4 colores y 4 cantidades. La tarea consistía en distribuir las cartas según un criterio estándar. Cuando el sujeto lograba 10 respuestas correctas consecutivas, se completaba una categoría y se cambiaba el criterio sin previo aviso. Las variables principales obtenidas de la versión digital

incluyeron: número de respuestas correctas (WCST correctas), número de categorías identificadas correctamente (WCST categorías), respuestas perseverantes (WCST perseverance), indicando el número de cartas clasificadas bajo una categoría previamente correcta a pesar de recibir retroalimentación negativa, y el número total de errores (WCST error). Esta prueba ejecutiva ha demostrado alta fiabilidad y validez interna para medir flexibilidad cognitiva (Del Valle-del Valle et al., 2008).

Por último, respecto a la memoria de trabajo se evaluó con el Digit Span Test (DST), que analiza la capacidad de almacenamiento y retención de información. La prueba consistía en dos medidas: a) en directo, que implicaba recordar dígitos en el mismo orden en que se presentaron de forma oral, y b) en inverso, que requería recordar los dígitos en el orden inverso. En ambos casos, la secuencia comenzaba con una serie de 3 dígitos, presentada oralmente por el examinador a una velocidad de uno por segundo. Si el participante recordaba correctamente la secuencia, pasaba a la siguiente serie de 3 dígitos. Si respondía correctamente, la prueba avanzaba a la primera serie con una longitud de 4 dígitos, y así sucesivamente, hasta que el participante cometía dos errores consecutivos en la misma longitud de dígitos. En esta investigación, se centró en la memoria de trabajo inversa, midiendo la variable número de dígitos correctos en orden inverso (DST-I) y el número total de dígitos correctos (DST-I-T).

Diseño y procedimientos

Se utilizó un diseño experimental longitudinal, aleatorizado y doble ciego. La variable independiente fue el "programa de entrenamiento". La variable dependiente fue la función ejecutiva, cuya medición incluyó el Stroop Test (ST), el Digit Span Test (DSP) y el Wisconsin Card Sorting Test (WCST), los cuales fueron realizados siguiendo este mismo orden. Los participantes fueron asignados aleatoriamente a 3 grupos: entrenamiento de fuerza a baja velocidad (LVRT) (N=13), entrenamiento de fuerza a alta velocidad (HVRT) (N=13) y grupo control (CG) (N=13). Los participantes fueron evaluados inicialmente (PRE) una semana antes de la intervención de entrenamiento. Después de las evaluaciones PRE, comenzaron su programa de entrenamiento de 8 semanas. Todos los grupos fueron evaluados nuevamente después de la intervención (POST), siguiendo el mismo orden que en PRE. El ensayo fue registrado en ClinicalTrials.gov (NCT06205264).

Para garantizar el doble cegamiento, un investigador externo asignó aleatoriamente a la mitad de los participantes al grupo LVRT y a la otra mitad al grupo HVRT (<https://www.randomlists.com>), además de supervisar que los participantes siguieran el protocolo de entrenamiento establecido.

Programa de entrenamiento

Ambos grupos entrenaron 3 veces por semana durante 8 semanas, con al menos 1 día de descanso entre cada sesión. Como calentamiento, los sujetos realizaron movilidad de las principales articulaciones, estiramientos dinámicos y 400 metros de carrera. Cada día, se realizaron 5 ejercicios funcionales multiarticulares basados en los siguientes movimientos: empuje horizontal o vertical, tracción horizontal o vertical, ejercicio dominante de cadera o ejercicio dominante de rodilla. En cada sesión semanal (días 1, 2 y 3) se realizaron diferentes ejercicios para mantener la motivación de los participantes (la Tabla 2 muestra el cronograma de ejercicios).

Tabla 2. Estructura semanal de ejercicios.

| EJERCICIOS | DIA 1 | DIA 2 | DIA 3 |
|------------|-------|-------|-------|
| 1 | HPR | VPU | HPR |
| 2 | HPU | VPR | VPU |
| 3 | VPR | HPU | HPU |
| 4 | KD | HD | KD |
| 5 | HD | KD | HD |

Nota: HPR: empuje horizontal; HPU: tracción horizontal; VPR: empuje vertical; VPU: Tracción vertical; KD: dominante de rodilla; HD: dominante de cadera

La intensidad del entrenamiento se determinó utilizando la escala de Borg modificada (0-10) (Robertson et al., 2000) y durante las semanas 1-2 se realizó la familiarización con la técnica de los ejercicios y la regulación de la intensidad a través de la percepción subjetiva del esfuerzo (RPE). Las cargas de cada sujeto se ajustaron en cada sesión a 10 repeticiones y al RPE demandado en esa fase de entrenamiento,

registrándose al final de cada sesión. La Tabla 3 muestra la progresión en términos de intensidad y volumen durante las 8 semanas. El número de repeticiones por serie (10 repeticiones), el tiempo de descanso entre ejercicios (30 segundos) y entre series (2 minutos) no cambió durante las 8 semanas.

Tabla 3. Progresión de cargas en términos de volumen e intensidad.

| SEMANA | SERIES | INTENSIDAD (RPE) |
|--------|--------|------------------|
| 1-2 | 2 | 6 |
| 3-4 | 3 | 6 |
| 5-6 | 3 | 7 |
| 7-8 | 4 | 7 |

Nota: RPE: índice de esfuerzo percibido

La única diferencia entre los grupos fue la velocidad de movimiento. En el grupo LVRT, tanto la fase concéntrica como la excéntrica del ejercicio se realizaron con una duración de 3 segundos cada una. Sin embargo, en el grupo HVRT la fase excéntrica de cada ejercicio se realizó durante aproximadamente 3 segundos, mientras que la fase concéntrica se realizó a velocidad máxima. Esta secuencia se estandarizó en la primera semana de entrenamiento y la duración de la fase excéntrica se cronometró regularmente como retroalimentación para los sujetos.

Cálculo del tamaño de la muestra

Para garantizar la validez de los resultados, se calculó el tamaño de la muestra. Se consideró como variable principal el desempeño en atención en respuesta al entrenamiento de fuerza. Por lo tanto, y debido a la similitud con la muestra, se utilizó como referencia el estudio de Hao et al. (2023). Así, el tamaño de muestra para cada grupo fue de 13 participantes, considerando un nivel de confianza del 95% y una potencia estadística del 95%.

Análisis de datos

Los datos se presentaron como media \pm DT. Para evaluar la normalidad de las variables, se realizaron pruebas de Shapiro-Wilk, y la igualdad de varianzas se contrastó con la prueba de Levene. Para evaluar la existencia de diferencias significativas entre los grupos en las variables de resultado, se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) de una vía. La variable independiente consistió en el tipo de intervención, y las variables dependientes fueron las medidas de cada función ejecutiva. Los tamaños del efecto se calcularon para evaluar la magnitud de las diferencias observadas, utilizando η^2 cuadrada parcial (η^2_p) para los resultados del ANOVA y el tamaño del efecto de Cohen para las comparaciones post-hoc. Se estableció un nivel de significancia de $p < 0,05$. Para el análisis estadístico, se utilizó el software SPSS (Versión 22.0, IBM SPSS Statistics for Windows, 2013; IBM Corp).

Resultados

Como se observa en la Tabla 4, no existen diferencias significativas entre los valores iniciales de los distintos grupos en ninguna de las funciones ejecutivas analizadas.

Tabla 4. Valores descriptivos iniciales de las funciones ejecutivas en los niños participantes según cada grupo.

| Variables | LVRT | HVRT | CG | p valor |
|--|-------------------|-------------------|-------------------|---------|
| | Media \pm DT | Media \pm DT | Media \pm DT | |
| ST-I-T (seg) | 67.31 \pm 40.28 | 57.54 \pm 11.60 | 70.24 \pm 50.87 | .718 |
| ST-I-A (Nº respuestas correctas) | 27.80 \pm 4.310 | 26.09 \pm 1.86 | 27.90 \pm 4.43 | .454 |
| DST-I (Longitud) | 4.00 \pm 1.33 | 3.81 \pm 1.07 | 3.60 \pm 1.57 | .800 |
| DST-I-T (Nº respuestas correctas) | 2.60 \pm 2.31 | 2.63 \pm 1.56 | 2.70 \pm 1.56 | .992 |
| WCST categorías (Nº categorías) | 3.00 \pm 1.49 | 2.27 \pm 0.90 | 2.60 \pm 1.17 | .396 |
| WCST correctas (Nº respuestas correctas) | 45.00 \pm 9.79 | 46.36 \pm 5.18 | 43.20 \pm 9.93 | .698 |
| WCST error (Nº respuestas incorrectas) | 21.20 \pm 9.98 | 17.63 \pm 5.1 | 20.80 \pm 9.93 | .578 |
| WCST perseverancia | 18.00 \pm 9.83 | 19.55 \pm 2.80 | 13.80 \pm 6.71 | .178 |

Las respuestas de las tareas ejecutivas de los sujetos, según el grupo y el momento de evaluación, se presentan en la Tabla 5. Los valores de ST-T muestran una interacción significativa grupo \times tiempo ($<0,001$; $\eta^2_p = 0,734$) con un notable efecto del tiempo ($<0,001$; $\eta^2_p = 0,341$). También se observa una



diferencia significativa a lo largo del tiempo ($<0,001$; $\eta^2p= 0,341$), donde ambos grupos de entrenamiento de fuerza logran reducir el tiempo de ejecución en la prueba. Sin embargo, solo el grupo HVRT consigue una reducción significativa ($p<0,001$; $ES= 2,20$). En contraste, el grupo control (CG) aumenta significativamente su tiempo ($p=0,03$; $ES= 2,31$).

En cuanto a las respuestas correctas, se observa una interacción significativa grupo x tiempo ($p=0,001$; $\eta^2p= 0,376$), con el grupo HVRT mostrando un desempeño superior en comparación con la evaluación previa ($p=0,048$; $ES= 0,84$).

La memoria de trabajo muestra una interacción significativa grupo x tiempo ($<0,001$; $\eta^2p= 0,413$) con un efecto del tiempo ($p=0,043$; $\eta^2p= 0,201$) y un efecto del grupo ($<0,001$; $\eta^2p= 0,347$). Ambos grupos de entrenamiento de fuerza mejoran su desempeño en la evaluación posterior en DST-I (HVRT $p=0,003$; $ES= 0,51$; LVRT $p=0,01$; $ES= 0,28$) en comparación con el grupo control (LVRT vs. CG $p=0,001$; $ES=0,51$; HVRT vs. CG $p=0,01$; $ES=0,50$). Los valores de respuestas correctas en DST-I también presentan una interacción significativa grupo x tiempo ($<0,001$; $\eta^2p= 0,504$) con un fuerte efecto del tiempo ($<0,001$; $\eta^2p= 0,504$), evidenciando un mayor desempeño en la evaluación posterior. Aunque no se encuentran diferencias significativas entre LVRT y HVRT, el grupo HVRT muestra una mayor mejora después de completar el programa de entrenamiento ($p<0,001$; $ES= 0,32$) en comparación con el grupo LVRT ($p=0,022$; $ES= 0,34$).

En términos de desempeño en flexibilidad cognitiva, se encuentra una interacción significativa grupo x tiempo para las categorías del WCST ($<0,001$; $\eta^2p= 0,567$), con ambos grupos (LVRT y HVRT) logrando un mayor número de categorías que el grupo control. También se observa un efecto significativo del tiempo ($<0,001$; $\eta^2p= 0,721$), donde el desempeño en la evaluación posterior es superior al de la evaluación previa (LVRT $p<0,001$; $ES= 0,228$; HVRT $p<0,001$; $ES= 0,217$). El número de errores también muestra una interacción significativa grupo x tiempo ($p<0,001$; $\eta^2p= 0,446$), con el grupo LVRT reduciendo significativamente los errores en la evaluación posterior en comparación con los valores iniciales ($p<0,001$; $ES= 1,553$). Además, este grupo reduce significativamente el número de errores en comparación con el grupo control ($p=0,093$; $ES= 3,39$). Se observa también un efecto significativo del tiempo ($<0,001$; $\eta^2p= 0,357$), donde el número de errores disminuye respecto a los valores iniciales.

Table 5. Efecto del programa de entrenamiento de fuerza según grupo.

| Variables | Inicial | | Post | | P valor tiempo | η^2 parcial | P valor grupo | η^2 parcial | P valor tiempo*grupo | η^2 parcial |
|---|-------------------|----------------|----------------------|----------------|----------------|------------------|---------------|------------------|----------------------|------------------|
| | Media \pm DT | Media \pm DT | Media \pm DT | Media \pm DT | | | | | | |
| ST-I-T (seg) | | | | | | | | | | |
| LVRT | 67.31 \pm 40.28 | | 64.46 \pm 39.27 | | | | | | | |
| HVRT | 57.54 \pm 11.60 | | 37.63 \pm 9.65***† | | <.001 | .341 | .279 | .087 | <.001 | .734 |
| CG | 70.24 \pm 50.87 | | 77.97 \pm 56.11* | | | | | | | |
| ST-I-A (Nº respuestas correctas) | | | | | | | | | | |
| LVRT | 27.8 \pm 4.31 | | 29.80 \pm 3.19 | | | | | | | |
| HVRT | 26.09 \pm 1.86 | | 28.81 \pm 2.04* | | .082 | .104 | .350 | .072 | .001 | .376 |
| CG | 27.90 \pm 4.43 | | 25.90 \pm 3.14 | | | | | | | |
| DST-I (Longitud) | | | | | | | | | | |
| LVRT | 4.00 \pm 1.33 | | 5.10 \pm 0.99*‡ | | | | | | | |
| HVRT | 3.81 \pm 1.07 | | 5.00 \pm 0.63*† | | <.001 | .347 | .043 | .201 | <.001 | .413 |
| CG | 3.60 \pm 1.57 | | 3.20 \pm 1.13 | | | | | | | |
| DST-I-T (Nº respuestas correctas) | | | | | | | | | | |
| LVRT | 2.60 \pm 2.31 | | 3.80 \pm 2.61* | | | | | | | |
| HVRT | 2.80 \pm 1.03 | | 4.63 \pm 1.28*** | | <.001 | .504 | .445 | .056 | <.001 | .504 |
| CG | 2.70 \pm 1.56 | | 2.60 \pm 1.26 | | | | | | | |
| WCST categorías (Nº categorías) | | | | | | | | | | |
| LVRT | 3.0 \pm 1.49 | | 4.2 \pm 1.31***‡ | | | | | | | |
| HVRT | 2.27 \pm 0.90 | | 4.27 \pm 0.64***† | | <.001 | .721 | .129 | .136 | <.001 | .567 |
| CG | 2.60 \pm 1.17 | | 2.70 \pm 0.82 | | | | | | | |
| WCST correcto (Nº respuestas correctas) | | | | | | | | | | |
| LVRT | 45.00 \pm 9.79 | | 50.80 \pm 3.64*‡ | | | | | | | |
| HVRT | 46.36 \pm 5.18 | | 54.90 \pm 2.25***† | | <.001 | .325 | .017 | .252 | <.001 | .440 |
| CG | 43.20 \pm 9.93 | | 40.30 \pm 9.58* | | | | | | | |
| WCST error (Nº respuestas incorrectas) | | | | | | | | | | |
| LVRT | 21.20 \pm 9.98 | | 12.10 \pm 4.01*** | | | | | | | |
| HVRT | 17.63 \pm 5.1 | | 15.09 \pm 4.21 | | <.001 | .357 | .224 | .101 | <.001 | .446 |
| CG | 20.80 \pm 9.93 | | 22.00 \pm 9.88 | | | | | | | |
| WCST perseverancia | | | | | | | | | | |
| LVRT | 17.45 \pm 9.50 | | 15.70 \pm 5.53 | | | | | | | |
| HVRT | 17.30 \pm 4.54 | | 12.63 \pm 4.63***† | | .003 | .207 | .393 | .276 | .003 | .276 |
| CG | 13.80 \pm 6.71 | | 13.20 \pm 6.54 | | | | | | | |



* Diferencias significativas ($p < 0.05$)

*** Diferencia significativa ($p < 0.001$)

† Diferencias significativas entre HVRT and CG

‡ Diferencias significativas entre LVRT and CG

§ Diferencias significativas entre HVRT and LVRT

Discusión

En la literatura científica, existen pocos estudios que hayan investigado los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza sobre las funciones ejecutivas de jóvenes en edad escolar (Robinson et al., 2023) particularmente comparando dos modalidades de velocidad de ejecución durante el entrenamiento. Nuestros principales hallazgos indican que el programa de entrenamiento de fuerza a alta velocidad tiene un impacto positivo en todas las funciones ejecutivas.

La evidencia científica sobre los beneficios de la actividad física para las funciones ejecutivas en niños se ha centrado principalmente en el ejercicio aeróbico (Bidzan-Bluma & Lipowska, 2018; García-Hermoso et al., 2021), siendo respaldado, además, por revisiones sistemáticas (Mura et al., 2015). Sin embargo, otras revisiones más recientes concluyen que los programas de entrenamiento de fuerza pueden mejorar la cognición, las funciones ejecutivas y el rendimiento académico (Robinson et al., 2023; Zoeller, 2010).

Nuestros análisis revelaron que el HVRT (Tabla 4) logró mejoras en el control inhibitorio después de 8 semanas de entrenamiento ($p < 0.001$), mientras que el grupo LVRT no sufrió cambios estadísticamente significativos en ninguna de las variables evaluadas. Sin embargo, tanto la memoria de trabajo como la flexibilidad cognitiva mejoraron tras el programa de entrenamiento en ambos grupos. Continuando con los efectos intragrupo que han sido diferenciadores entre ambos grupos experimentales al finalizar el programa, se observa que en el WCST el LVRT redujo el número de errores con un tamaño del efecto grande ($p < 0.005$), mientras que HVRT consiguió disminuir la perseverancia en los errores de esta prueba ($p < 0.001$). Aunque el efecto intergrupo no fue significativo, la flexibilidad cognitiva parece mejorar en algunas de las categorías medidas en el WCST. En relación a la memoria de trabajo, ambos grupos de entrenamiento mejoraron de manera significativa la longitud en DST-I. Estos resultados concuerdan con los encontrados en el metaanálisis de Robinson et al. (2023), donde también se observa cierto efecto positivo sobre la flexibilidad cognitiva, encontrando en nuestro caso un tamaño del efecto grande tanto en el número de categorías conseguidas como en el número de respuestas correctas. En relación al resto de variables de WCST, observamos que el número de errores se reduce en el grupo LVRT ($p < 0.001$), mientras que en la perseverancia el grupo HVRT consigue un mejor rendimiento ($p < 0.003$) siendo esta la principal diferencia intragrupo en esta función ejecutiva. Por otro lado, es importante destacar que durante esta investigación las tareas físicas no implicaron ninguna demanda cognitiva, por lo que este cambio puede estar justificado debido a la velocidad de ejecución en comparación con el LVRT.

Sabiendo que el entrenamiento de fuerza es una actividad motora con ciertas demandas coordinativas, requiere atención y concentración para ejecutar cada movimiento de forma segura. Además, la participación intencional de velocidad máxima en el ejercicio de fuerza conlleva una mayor activación del sistema nervioso central, influyendo potencialmente más en la activación neuronal durante la ejecución (Feter et al., 2023). En un estudio de Chirles (2017) se observó que la mejora de la conectividad cerebral, particularmente en las regiones subcorticales y corticales, puede estar relacionada con mejoras en la fuerza y la función ejecutiva.

Estos hallazgos sugieren que el entrenamiento intencional de velocidad máxima induce adaptaciones neuromusculares que pueden estar asociadas con mejoras en la función cognitiva. Esto puede atribuirse a la liberación de mioquinas neurogénicas, incluidas la irisina y la catepsina B, generadas por la contracción muscular, que se asocian con una mayor plasticidad neuronal (Gerszten et al., 2022).

Estas sustancias estimulan la expresión del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) en el hipocampo, dando lugar a mejoras en la plasticidad estructural y funcional cerebral, generando beneficios para la función cognitiva (Pedersen, 2019). Este mismo autor también apoya la idea de que la intensidad de la respuesta de las mioquinas está vinculada al volumen de masa muscular implicada, sugiriendo que las contracciones musculares explosivas, como las realizadas durante las contracciones voluntarias de



máxima velocidad, podrían resultar en un reclutamiento similar o incluso superior de fibras tipo II en comparación con el entrenamiento de resistencia tradicional de alta carga.

Por estas razones, tanto el efecto inherente del ejercicio físico a través de la neurogénesis (Tomporowski & Pesce, 2019) como la mayor implicación neuronal pueden justificar las mejoras observadas en el HVRT en nuestro programa de entrenamiento. Sin embargo, en la revisión de Robinson et al. (2023), se observó que, al comparar el efecto sobre diferentes constructos cognitivos (atención, flexibilidad cognitiva, inhibición, memoria de trabajo, planificación e inteligencia fluida), no existía una mayor sensibilidad al entrenamiento de fuerza. Esta inconsistencia en el efecto crónico del entrenamiento de fuerza puede deberse a la observación en nuestros resultados de que cada función ejecutiva no responde de la misma manera al mismo programa de ejercicio físico en estos grupos de edad. Por lo tanto, se deben considerar variables importantes del entrenamiento como la intensidad, la duración y la frecuencia del entrenamiento (Sember et al., 2020).

Para comprender mejor estas diferencias entre las funciones ejecutivas, es interesante considerar los diferentes mecanismos cognitivos responsables del efecto del entrenamiento de fuerza sobre las funciones ejecutivas. La memoria de trabajo, la cual permite el almacenamiento temporal y la manipulación de información en tareas complejas, ha mostrado una fuerte asociación con la aptitud muscular (Baddeley, 1992). Por lo tanto, la capacidad muscular puede desempeñar un papel significativo en esta función ejecutiva. La mejora del rendimiento en la memoria de trabajo puede beneficiar el rendimiento académico y también puede afectar a otras funciones ejecutivas de orden superior como la resolución de problemas, la planificación y el razonamiento (Diamond, 2013). A pesar de encontrar cambios significativos en las funciones ejecutivas en esta investigación, la evidencia científica existente en esta población es limitada. Al comparar dicho efecto en otras edades, podemos observar en la revisión sistemática realizada por Landrigan et al. (2020) un efecto modesto del entrenamiento de fuerza sobre la memoria de trabajo en adultos. Esta diferencia podría explicarse por los procesos de maduración neurológica que ocurren en las etapas tempranas del desarrollo, los cuales podrían hacer que la memoria de trabajo en niños sea más sensible a los efectos del entrenamiento de fuerza.

Se deben reconocer algunas limitaciones en el presente estudio. En primer lugar, la muestra estudiada podría ampliarse a una población más representativa de este grupo de edad. Por lo tanto, es de interés realizar un programa de entrenamiento con una población más grande. Por otro lado, a pesar de encontrar mejoras con tan solo 8 semanas de entrenamiento, podría ser interesante aumentar el número de semanas y realizar también un periodo de seguimiento para entender el efecto residual. Por último, se analizaron los cambios funcionales en las funciones ejecutivas, pero no se analizaron posibles cambios estructurales a nivel cerebral o incluso cambios biológicos como en el BDNF o el IGF-1.

En conclusión, una intervención de entrenamiento de fuerza en niños demostró mejoras en varias dimensiones de las funciones ejecutivas. En particular, el grupo HVRT experimentó un mayor cambio en comparación con el grupo LVRT tras 8 semanas de entrenamiento. Así pues, el entrenamiento a alta velocidad intencional en la fase concéntrica podría generar un mayor beneficio en el rendimiento cognitivo a estas edades, especialmente en las funciones ejecutivas.

Estos hallazgos tienen importantes implicaciones para el diseño de programas educativos y de actividad física en contextos escolares. Integrar sesiones de entrenamiento de fuerza con énfasis en la velocidad podría ser una estrategia efectiva para potenciar no sólo la salud física, sino también el desarrollo cognitivo en estas edades, contribuyendo a una mejora en habilidades claves como la atención, la memoria de trabajo y la autorregulación.

Asimismo, futuras investigaciones deberían explorar la sostenibilidad de estos efectos a largo plazo, así como su relación con el rendimiento académico y otros indicadores de desarrollo psicosocial. También se recomienda analizar cómo pueden afectar variables influyentes, tales como de índole personal (autoeficacia), familiares (sociodemográficas) y del ambiente de los niños (práctica de actividades físicas).

Conclusiones

En conclusión, una intervención de entrenamiento de fuerza en niños demostró mejoras en varias dimensiones de las funciones ejecutivas. En particular, el grupo HVRT experimentó un mayor cambio en



comparación con el grupo LVRT tras 8 semanas de entrenamiento. Así pues, el entrenamiento a alta velocidad intencional en la fase concéntrica podría generar un mayor beneficio en el rendimiento cognitivo a estas edades, especialmente en las funciones ejecutivas.

Referencias

- Asamoah, S., Siegler, J., Chang, D., Scholey, A., Yeung, A., & Cheema, B. S. (2013). Effect of Aerobic Training on Cognitive Function and Arterial Stiffness in Sedentary Young Adults: A Pilot Randomized Controlled Trial. *Physiology Journal*, 2013, 1–9. <https://doi.org/10.1155/2013/847325>
- Baddeley A. (1992). Working memory. *Science (New York, N.Y.)*, 255(5044), 556–559. <https://doi.org/10.1126/science.1736359>
- Bidzan-Bluma, I., & Lipowska, M. (2018). Physical Activity and Cognitive Functioning of Children: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(4). <https://doi.org/10.3390/ijerph15040800>
- Blair C. (2017). Educating executive function. *Wiley interdisciplinary reviews. Cognitive science*, 8(1-2), 10.1002/wcs.1403. <https://doi.org/10.1002/wcs.1403>
- Chirles, T. J., Reiter, K., Weiss, L. W., Alfini, A. J., Nielson, K. A., & Smith, J. C. (2017). Exercise Training and Functional Connectivity Changes in Mild Cognitive Impairment and Healthy Elders. *Journal Of Alzheimer's Disease*, 1 January, 845–856. <https://doi.org/10.3233/jad-161151>
- Chow, L. S., Gerszten, R. E., Taylor, J. M. et al. (2022). Exerkines in health, resilience and disease. *Nature reviews. Endocrinology*, 18(5), 273–289. <https://doi.org/10.1038/s41574-022-00641-2>
- Chow, Z. S., Moreland, A. T., Macpherson, H., & Teo, W. P. (2021). The Central Mechanisms of Resistance Training and Its Effects on Cognitive Function. *Sports Medicine*, 51(12), 2483–2506. <https://doi.org/10.1007/s40279-021-01535-5>
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., Webb, A., Jerome, G. J., Marquez, D. X., & Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9), 3316–3321. <https://doi.org/10.1073/pnas.0400266101>
- Dajani, D. R., & Uddin, L. Q. (2015). Demystifying cognitive flexibility: Implications for clinical and developmental neuroscience. *Trends in Neurosciences*, 38(9), 571–578. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2015.07.003>
- De Greeff, J. W., Bosker, R. J., Oosterlaan, J., Visscher, C., & Hartman, E. (2018). Effects of physical activity on executive functions, attention and academic performance in preadolescent children: a meta-analysis. *Journal of science and medicine in sport*, 21(5), 501–507. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2017.09.595>
- Del Valle del Valle, G., Del Valle Puerta Cuestas, M., Hernández, O. R., Escalera, P. N., Blázquez, M. C. G., Salvador, N. F., Garrido, J. C., Campos, J. F., & Sebastián, E. N. (2008). Utilidad clínica de la versión de 64 cartas del test de clasificación de cartas de Wisconsin en pacientes que han sufrido un traumatismo craneoencefálico. *Revista de Neurología*, 46(03), 142. <https://doi.org/10.33588/rn.4603.2007236>
- Diamond A. (2020). Executive functions. *Handbook of clinical neurology*, 173, 225–240. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-64150-2.00020-4>
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain research reviews*, 52(1), 119–130. <https://doi.org/10.1016/j.brainresrev.2006.01.002>
- Feter, N., Schaun, G. Z., Smith, E. C., Cassuriaga, J., Alt, R., Redig, L., Lima, C., Coombes, J. S., & Rombaldi, A. J. (2023). High-velocity resistance training improves executive function in mobility-limited older adults. *Archives of Gerontology and Geriatrics*, 114(May), 105081. <https://doi.org/10.1016/j.archger.2023.105081>
- García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., Lubans, D. R., & Izquierdo, M. (2021). Effects of physical education interventions on cognition and academic performance outcomes in children and adolescents: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 55(21), 1224–1232. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2021-104112>
- Golden, C. J. (2020). STROOP. Test de Colores y Palabras – Edición Revisada (B. Ruiz-Fernández, T. Luque y F. Sánchez-Sánchez, adaptadores). Madrid: TEA Ediciones.

- Grant, D. A., & Berg, E. A. (1948). A behavioral analysis of degree of reinforcement and ease of shifting to new responses in a Weigl-type card-sorting problem. *Journal of Experimental Psychology*, 38(4), 404–411. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18874598>
- Hao, L., Fan, Y., Zhang, X., Rong, X., Sun, Y., & Liu, K. (2023). Functional physical training improves fitness and cognitive development in 4-5 years old children. *Frontiers in Psychology*, 14(November), 1–10. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1266216>
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., Chason, J., Vakil, E., Bardell, L., Boileau, R. A., & Colcombe, A. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400(6743), 418–419. <https://doi.org/10.1038/22682>
- Landrigan, J.-F., Bell, T., Crowe, M., Clay, O. J., & Mirman, D. (2020). Lifting cognition: a meta-analysis of effects of resistance exercise on cognition. *Psychological Research*, 84, 1167–1183. <https://doi.org/10.1007/s00426-019-01145-x>
- Ludyga, S., Gerber, M., Pühse, U., Looser, V. N., & Kamijo, K. (2020). Systematic review and meta-analysis investigating moderators of long-term effects of exercise on cognition in healthy individuals. *Nature human behaviour*, 4(6), 603–612. <https://doi.org/10.1038/s41562-020-0851-8>
- Sember, V., Jurak, G., Kovač, M., Morrison, S. A., & Starc, G. (2020). Children's Physical Activity, Academic Performance, and Cognitive Functioning: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Frontiers in public health*, 8, 307. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2020.00307>
- Mueller, S. T., & Piper, B. J. (2014). The Psychology Experiment Building Language (PEBL) and PEBL Test Battery. *Journal of neuroscience methods*, 222, 250–259. <https://doi.org/10.1016/j.jneumeth.2013.10.024>
- Mura, G., Vellante, M., Nardi, A. E., Machado, S., & Carta, M. G. (2015). Effects of School-Based Physical Activity Interventions on Cognition and Academic Achievement: A Systematic Review. *CNS & Neurological Disorders Drug Targets*, 14(9), 1194–1208. <https://doi.org/10.2174/187152731566615111121536>
- Orozco-Hormaza, M., Sánchez-Ríos, H., & Cerchiaro-Ceballos, E. (2011). Relación entre desarrollo cognitivo y contextos de interacción familiar de niños que viven en sectores urbanos pobres. *Universitas Psychologica*, 11(2), 427–440. <https://doi.org/10.11144/javeriana.upsy11-2.rdcc>
- Pedersen, B. K. (2019). Physical activity and muscle–brain crosstalk. *Nature Reviews Endocrinology*, 15, 383–392. <https://doi.org/10.1038/s41574-019-0174-x>
- Riva, D., Cazzaniga, F., Esposito, S., & Bulgheroni, S. (2013). Executive functions and cerebellar development in children. *Applied Neuropsychology: Child*, 2(2), 97–103. <https://doi.org/10.1080/21622965.2013.791092>
- Robertson, R. J., Goss, F. L., Boer, N. F., Peoples, J. A., Foreman, A. J., Dabayeb, I. M., Millich, N. B., Balasekaran, G., Riechman, S. E., Gallagher, J. D., & Thompkins, T. (2000). Children's OMNI scale of perceived exertion: Mixed gender and race validation. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32(2), 452–458. <https://doi.org/10.1097/00005768-200002000-00029>
- Robinson, K., Riley, N., Owen, K., Drew, R., Mavilidi, M. F., Hillman, C. H., Faigenbaum, A. D., Garcia-Hermoso, A., & Lubans, D. R. (2023). Effects of Resistance Training on Academic Outcomes in School-Aged Youth: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 53, 2095–2109. <https://doi.org/10.1007/s40279-023-01881-6>
- Stroth, S., Hille, K., Spitzer, M., & Reinhardt, R. (2009). Aerobic endurance exercise benefits memory and affect in young adults. *Neuropsychological rehabilitation*, 19(2), 223–243. <https://doi.org/10.1080/09602010802091183>
- Stroth, S., Reinhardt, R. K., Thöne, J., Hille, K., Schneider, M., Härtel, S., Weidemann, W., Bös, K., & Spitzer, M. (2010). Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiology of learning and memory*, 94(3), 364–372. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2010.08.003>
- Tomporowski, P. D., & Pesce, C. (2019). Exercise, sports, and performance arts benefit cognition via a common process. *Psychological Bulletin*, 145(9), 929–951. <https://doi.org/10.1037/bul0000200>
- Zoeller RF. Exercise and Cognitive Function: Can Working Out Train the Brain, Too? *American Journal of Lifestyle Medicine*. 2010;4(5):397-409. doi:10.1177/1559827610374413



Datos de los/as autores/as y traductor/a:

Manuel Jesús Jiménez Roldán
Manuel Chavarrías Olmedo
Ricardo Miguel Matias Gomes

manueljr@euosuna.org
manuelco@euosuna.org
rimgomes@esec.pt

Autor
Autor
Traductor