

**EFECTO DE LA APTITUD FÍSICA SOBRE EL PROCESAMIENTO DE LA INFORMACIÓN Y
EL CONTROL INHIBITORIO EN JUGADORES DE FUTBOL.**
**EFFECT OF PHYSICAL FITNESS ON INFORMATION PROCESSING AND INHIBITORY
CONTROL IN SOCCER PLAYERS.**

**Autores: ¹Ricardo José Jiménez González, ²Javier Stalin Marcillo Plúas, ³Carlos Manuel Meza
Cercado y ⁴José Ruperto Cuenca Zambrano.**

¹ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-6740-9703>

²ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0004-2297-2852>

³ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1586-4034>

⁴ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0007-0082-3268>

¹E-mail de contacto: departamentopsicologico1924@gmail.com

²E-mail de contacto: solsur_16@hotmail.com

³E-mail de contacto: mezacarlitos.cm@gmail.com

⁴E-mail de contacto: jcuenca1997@gmail.com

Afiliación: ¹*Federación Deportiva de Los Ríos, ²*Unidad Educativa Víctor Zeballos Mata, ³*Promoedu, ⁴*Escuela Fiscal Huancavilca, (Ecuador)

Artículo recibido: 21 de Noviembre del 2023

Artículo revisado: 25 de Noviembre del 2023

Artículo aprobado: 2 de Marzo del 2024

¹Magíster en Pedagogía de la Cultura Física con mención en Educación Física Inclusiva graduado de la Universidad Bolivariana del Ecuador (Ecuador).

²Magister en Entrenamiento Deportivo, graduado de la Universidad Estatal de Milagro (Ecuador).

³Licenciado en Cultura Física.

⁴Magister en Entrenamiento Deportivo, graduado de la Universidad Estatal de Milagro (Ecuador).

Resumen

Si bien se ha demostrado que una sesión intensa de ejercicio mejora la cognición posterior, incluso en adolescentes, los efectos de los juegos en equipo han recibido poca atención. Por lo tanto, este estudio examinó: el efecto de un episodio agudo de actividad de fútbol al aire libre sobre el procesamiento de la información, el control inhibitorio, la memoria de trabajo y el factor neurotrófico derivado del cerebro circulante en adolescentes; el efecto de la aptitud física sobre la cognición y; el efecto moderador de la aptitud física sobre las respuestas agudas al ejercicio. Tras la familiarización, 36 adolescentes (16 niñas) participaron en dos pruebas (60 minutos de fútbol y 60 minutos de descanso sentado) separadas por 7 días en un diseño cruzado contrapesado. El procesamiento de la información y el control inhibitorio y la memoria de trabajo se evaluaron 30 minutos antes del ejercicio/descanso e inmediatamente, 45 y 90 minutos después del ejercicio/descanso. Se obtuvieron muestras de

sangre capilar antes del ejercicio/descanso y hasta 120 minutos después del ejercicio/descanso. La mediana de la distancia recorrida en la prueba de aptitud física de varias etapas se utilizó para dividir al grupo en grupos de alta y baja condición física. El rendimiento en las tareas de función cognitiva fue similar entre el fútbol y el descanso sentado. Sin embargo, el grupo de alto estado físico tuvo tiempos de respuesta más rápidos en ambos niveles de la Tarea Stroop y en los tres niveles del Paradigma de Sternberg (efecto principal del estado físico; todos $p < .001$). Además, la relación ejercicio-cognición fue moderada por la condición física, observándose mejoras en los tiempos de respuesta de la memoria de trabajo después del ejercicio, solo en el grupo de alta condición física (interacción prueba*tiempo*capacidad física, $p < .05$). El factor neurotrófico derivado del cerebro circulante no se vio afectado por la actividad futbolística ni por la condición física ($p > .05$). El presente estudio muestra que niveles más altos de condición física son beneficiosos para la función cognitiva y proporciona evidencia

novedosa de que una forma de ejercicio ecológicamente válida y popular es beneficiosa para la memoria de trabajo después del ejercicio, solo en participantes de alta condición física.

Palabras clave: Aptitud física, Procesamiento de la información, Control Inhibitorio, Fútbol.

Abstract

While an intense session of exercise has been shown to improve later cognition, even in adolescents, the effects of team games have received little attention. Therefore, this study examined: the effect of an acute episode of outdoor soccer activity on information processing, inhibitory control, working memory, and circulating brain-derived neurotrophic factor in adolescents; the effect of physical fitness on cognition and; The moderating effect of physical fitness on acute responses to exercise. After familiarization, 36 adolescents (16 girls) participated in two tests (60 minutes of soccer and 60 minutes of sitting rest) separated by 7 days in a counterbalanced crossover design. Information processing and inhibitory control and working memory were assessed 30 minutes before exercise/rest and immediately, 45, and 90 minutes after exercise/rest. Capillary blood samples were obtained before exercise/rest and up to 120 minutes after exercise/rest. The median distance covered in the multi-stage fitness test was used to divide the group into high and low fitness groups. Performance on cognitive function tasks was similar between soccer and sitting rest. However, the high fitness group had faster response times on both levels of the Stroop Task and on all three levels of the Sternberg Paradigm (main effect of fitness; all $p < .001$). Furthermore, the exercise-cognition relationship was moderated by physical condition, with improvements observed in working memory response times after exercise only in the high physical condition group (test*time*physical capacity interaction, $p < 0.05$). Circulating brain-derived neurotrophic factor was not affected by soccer activity or physical condition ($p > .05$). The present study

shows that higher levels of fitness are beneficial for cognitive function and provides novel evidence that an ecologically valid and popular form of exercise is beneficial for working memory after exercise, only in high fitness participants.

Keywords: Physical fitness, Information processing, Inhibitory control, Soccer.

Sumário

Embora tenha sido demonstrado que uma sessão intensa de exercícios melhora a cognição posterior, mesmo em adolescentes, os efeitos dos jogos em equipe têm recebido pouca atenção. Portanto, este estudo examinou: o efeito de um episódio agudo de atividade de futebol ao ar livre no processamento de informações, controle inibitório, memória de trabalho e fator neurotrófico circulante derivado do cérebro em adolescentes; o efeito da aptidão física na cognição e; O efeito moderador da aptidão física nas respostas agudas ao exercício. Após familiarização, 36 adolescentes (16 meninas) participaram de dois testes (60 minutos de futebol e 60 minutos de descanso sentado) separados por 7 dias em um desenho cruzado contrabalançado. O processamento de informações e o controle inibitório e a memória de trabalho foram avaliados 30 minutos antes do exercício/repouso e imediatamente, 45 e 90 minutos após o exercício/repouso. Amostras de sangue capilar foram obtidas antes do exercício/repouso e até 120 minutos após o exercício/repouso. A distância mediana percorrida no teste de aptidão física de múltiplos estágios foi usada para dividir o grupo em grupos de alta e baixa aptidão. O desempenho nas tarefas de função cognitiva foi semelhante entre futebol e repouso sentado. No entanto, o grupo de alta aptidão teve tempos de resposta mais rápidos em ambos os níveis da Tarefa Stroop e em todos os três níveis do Paradigma de Sternberg (principal efeito da aptidão; todos $p < 0,001$). Além disso, a relação exercício-cognição foi moderada pela condição física, com melhorias observadas nos tempos de resposta da memória de trabalho após o exercício apenas no grupo de alta condição física (interação teste*tempo*capacidade física,

$p < 0,05$). O fator neurotrófico circulante derivado do cérebro não foi afetado pela atividade de futebol ou pela condição física ($p > 0,05$). O presente estudo mostra que níveis mais elevados de condicionamento físico são benéficos para a função cognitiva e fornece novas evidências de que uma forma de exercício ecologicamente válida e popular é benéfica para a memória de trabalho após o exercício, apenas em participantes com alto condicionamento físico.

Palavras-chave: **Aptidão física,**
Processamento de informação, Controle
inibitório, Futebol.

Introducción

Los episodios agudos de ejercicio provocan efectos beneficiosos pequeños a moderados sobre la función cognitiva en adultos, niños y adolescentes. Sin embargo, la relación ejercicio-cognición es un fenómeno complejo, afectado por una serie de factores como la modalidad, intensidad y duración de la serie de ejercicio, la edad, la condición física y el dominio cognitivo evaluado. Gran parte de la investigación en la población adolescente ha empleado protocolos tradicionales de ejercicio continuo en laboratorio, examinando la carrera/caminata en cinta rodante y la bicicleta ergométrica (Bright, 2022).

Además, la atención se ha centrado principalmente en la función cognitiva inmediatamente después del ejercicio, incluidos los dominios de la función ejecutiva y la memoria de trabajo. También existe cierta evidencia de que los beneficios de una serie aguda de ejercicio persisten hasta 45 minutos después del ejercicio; sin embargo, actualmente se desconoce la evolución temporal de los efectos cognitivos inducidos por el ejercicio más allá de esto. Sólo un estudio ha demostrado beneficios cognitivos agudos hasta 60 minutos después del ejercicio, y se encontró un mejor control inhibitorio 60 minutos después del

ejercicio en circuito de intensidad moderada. Sin embargo, ningún estudio ha examinado el efecto de una serie aguda de ejercicio más allá de 1 hora después del ejercicio en adolescentes (Jerez-Mayorga, 2013).

Además, muchos de los protocolos de ejercicio agudo utilizados en estudios anteriores son difíciles de incorporar en la jornada escolar debido a la dependencia de equipos especializados, como cintas de correr motorizadas y cicloergómetros, que pueden no estar disponibles en el entorno escolar. Se sabe que esto es una barrera importante para el ejercicio de la participación en esta población (López-Carrillo, 2021). Investigaciones recientes han intentado abordar este problema utilizando protocolos escolares agudos que consisten en intervalos de sprint, carreras de ida y vuelta, baloncesto y ejercicios cognitivamente atractivos (Paredes-Gómez, 2023).

Desarrollo

El uso de actividades intensas basadas en juegos, como el fútbol, es una modalidad atractiva dado que los patrones de actividad habituales de los jóvenes son de alta intensidad y de naturaleza intermitente, como se observa en los juegos de equipo. Además, la actividad basada en juegos suele ser una forma de ejercicio que disfrutan los jóvenes; una consideración vital para la implementación a largo plazo. Se han demostrado efectos positivos de estos protocolos escolares agudos en una variedad de dominios de la cognición, incluida la atención, la memoria de trabajo y la función ejecutiva (Fajardo, 2023). El fútbol es el ejercicio basado en juegos más popular entre los adolescentes, y hasta la fecha sólo hay un estudio que examina los efectos agudos del fútbol en la función cognitiva posterior. Una sesión breve (20 minutos) de fútbol de alta intensidad mejoró el rendimiento del control

inhibidor 20 minutos después del ejercicio, en comparación con caminar fútbol y un control en reposo. Sin embargo, se desconoce cómo afecta el fútbol a otros dominios de la función cognitiva, como la memoria de trabajo, así como la duración de las mejoras transitorias posteriores al ejercicio (Paredes-Gómez, 2023).

La evidencia transversal en adultos sugiere que aquellos con una mayor aptitud física, evaluada por la cantidad máxima de oxígeno, tienen tiempos de respuesta más rápidos en una tarea de velocidad psicomotora. Se han demostrado resultados similares en niños con sobrepeso y sedentarios, utilizando la cantidad máxima de oxígeno como criterio de aptitud (Blanco-Espitia, 2023). Firmansyah, A., et al. (2024) encontraron que tanto los niños como los adultos con buena condición física, evaluados con el PACER, una variación de la prueba de condición física de múltiples etapas, se desempeñaron mejor en una tarea de función ejecutiva que sus contrapartes con baja condición física.

Si bien existen pruebas sólidas de una relación positiva entre la aptitud física y la función cognitiva en niños y adultos, existe un conocimiento limitado sobre los adolescentes. Castillo González et al. (2023) utilizaron una batería de pruebas de aptitud física, incluida la prueba de aptitud física de múltiples etapas, en un grupo de adolescentes sanos y descubrieron que una mayor aptitud física se asociaba positivamente con el rendimiento académico. Además, una mayor aptitud física (evaluada mediante la prueba intermitente de Andersen) se asoció con un mayor rendimiento de control inhibitorio en adolescentes mayores (~14 años). Sin embargo, no se sabe cómo la aptitud física afecta dominios cognitivos clave como la función ejecutiva y la memoria de trabajo en los adolescentes más jóvenes, donde son de

particular importancia para el rendimiento académico (Prieto, 2020).

Revisiones sugieren que la aptitud física modera la relación aguda entre el ejercicio y la cognición, particularmente cuando la cognición se mide inmediatamente después del ejercicio, o con referencia al aprendizaje y la memoria (Lombarte, 2020). Sin embargo, otro metaanálisis concluyó que la aptitud física no modera la respuesta aguda al ejercicio, con respecto al ejercicio aeróbico y la función ejecutiva (Bernabéu Acosta, 2019).

Específicamente, se ha demostrado que los adolescentes con un mayor nivel de condición física, evaluado mediante una prueba de condición física de múltiples etapas y una prueba de ejercicio máximo gradual hasta el agotamiento, demuestran mejores tiempos de respuesta en una tarea de función ejecutiva inmediatamente después del ciclismo y 45 min después del ejercicio de baloncesto; mientras que en los adolescentes con menor condición física las tasas de error fueron mayores y los tiempos de respuesta fueron más lentos después del ejercicio (Prieto, 2020).

Además, los tiempos de respuesta en una tarea de memoria de trabajo mejoraron, sólo en el grupo de alta condición física, después del ejercicio de baloncesto. En general, la evidencia disponible sugiere que una mayor aptitud física puede mejorar las mejoras cognitivas posteriores al ejercicio. Esto también puede ser más aplicable al ejercicio basado en juegos, que tiene demandas tanto cognitivas como físicas, por lo que aquellos con una mayor condición física pueden asignar mayores recursos cognitivos a la actividad en sí. Los mecanismos subyacentes detrás de esta relación aún no están claros, aunque se ha supuesto que los factores de crecimiento circulantes, en particular el

factor neurotrófico derivado del cerebro, pueden desempeñar un papel (Li, 2023).

Se afirma que el factor neurotrófico derivado del cerebro tiene un papel instrumental en la formación estructural y la función del cerebro y juega un papel importante en la promoción y mantenimiento de la conectividad sináptica; que se sugiere como uno de los mecanismos a través del cual el factor neurotrófico derivado del cerebro puede mediar mejoras en la función cognitiva después del ejercicio.

Hasta la fecha, sólo se ha investigado el factor neurotrófico derivado del cerebro en reposo en relación con la actividad física medida objetivamente en adolescentes; por lo que la actividad física y el factor neurotrófico derivado del cerebro plasmático no estaban relacionados y la actividad física media y el factor neurotrófico derivado del cerebro sérico estaban relacionados negativamente sólo en los adolescentes varones (Vélez, 2020).

Además, ningún estudio ha examinado el curso temporal de las concentraciones del factor neurotrófico derivado del cerebro en las horas posteriores a una serie aguda de ejercicio en adolescentes, lo cual es un importante vacío de conocimiento a llenar dado el papel sugerido del factor neurotrófico derivado del cerebro en la mediación de las mejoras cognitivas posteriores al ejercicio. Actualmente se desconoce la respuesta del factor neurotrófico derivado del cerebro a un episodio agudo de actividad basada en juegos ecológicamente válidos en adolescentes, y el papel moderador de la aptitud física en esta relación ejercicio-factor neurotrófico derivado del cerebro.

El objetivo del presente estudio fue investigar el efecto de una sesión aguda de fútbol al aire libre sobre el procesamiento de la información, el control inhibitorio y la memoria de trabajo y la

concentración circulante del factor neurotrófico derivado del cerebro en adolescentes, hasta 2 horas después del ejercicio. Un objetivo secundario del estudio fue examinar si había diferencias en el rendimiento general de la función cognitiva y la concentración de factor neurotrófico derivado del cerebro entre los participantes con alta y baja condición física, y si la aptitud física modera la función cognitiva y las concentraciones del factor neurotrófico derivado del cerebro después del ejercicio.

Métodos

Características de los participantes

Treinta y seis adolescentes (20 niños, 16 niñas) se ofrecieron como voluntarios para participar en el estudio. Durante la familiarización, todos los participantes se sometieron a mediciones antropométricas de altura (cm), masa corporal (kg) y altura sentado (cm). Estos se utilizaron para calcular la edad a la velocidad máxima de altura. La altura se midió con un Tallímetro Tanita Leicester HR-001 con una precisión de 0,1 cm, la masa corporal se midió utilizando una báscula digital Seca 770 con una precisión de 0,1 kg y la circunferencia de la cintura con una precisión de 0,1 cm. 38]. Se midieron cuatro sitios de pliegues cutáneos (tríceps, subescapular, supraespinal y parte anterior del muslo) como marcador sustituto de la composición corporal. Las características descriptivas de los participantes se presentan en la Tabla 1

Diseño experimental

Los participantes fueron reclutados en la Federación Deportiva de Los Ríos, pertenecientes al equipo de fútbol Atlético Whalex. Durante la fase inicial de reclutamiento se obtuvo el consentimiento escrito de los padres y el consentimiento de los participantes. Los padres/tutores de cada participante

completaron un examen de salud y un investigador principal lo revisó para garantizar que no hubiera condiciones médicas que pudieran afectar la participación del niño en el estudio. Todos los participantes que se inscribieron en el estudio fueron considerados

sanos. En particular, cualquier participante que tuviera condiciones neurológicas y/o de salud mental existentes no era elegible para participar. Además de esto, no se permitió participar a los participantes con alguna dolencia física que pudiera verse agravada por la actividad física.

Tabla 1 Características de los participantes para el grupo en general, así como para los grupos de alta y baja condición física. Los datos son medias \pm DE.

Variable	General	Ajuste alto	Ajuste bajo
Edad (año)	12.6 \pm 0.5	12.7 \pm 0.5	12.4 \pm 0.5
Altura (cm)	163.1 \pm 7.0	163.5 \pm 8.0	162.6 \pm 6.1
Masa corporal (kg)	53.9 \pm 10.0	50.1 \pm 8.9 *	57.6 \pm 10.0
Circunferencia de la cintura (cm)	70.0 \pm 8.0	66.0 \pm 5.4 *	73.9 \pm 8.4
Suma de 4 pliegues cutáneos (mm)	60.3 \pm 26.8	42.8 \pm 12.8	77.8 \pm 25.7
Compensación de vencimiento	0.08 \pm 0.94	0.20 \pm 0.84	-0.05 \pm 1.03
Prueba de aptitud física de varias etapas (m)	1160 \pm 400	1480 \pm 300 **	840 \pm 140
Cantidad máxima de oxígeno ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	47.9 \pm 5.2	52.0 \pm 3.7 **	43.8 \pm 2.5

* Diferente respecto al ajuste bajo, $p < .05$.
** Diferente comparado con ajuste bajo, $p < .001$

Fuente: Los autores

Este estudio empleó un diseño aleatorio, de orden equilibrado, cruzado e intrasujetos que consta de dos ensayos experimentales principales (ejercicio y reposo); separados por al menos 7 días. Los participantes estaban cegados a las condiciones del ensayo hasta su llegada a la Federación Deportiva de Los Ríos. Se llevó a cabo una familiarización \sim 7 días antes de la primera prueba principal y permitió a los participantes familiarizarse con todos los procedimientos necesarios, incluido el muestreo de sangre capilar y la batería de pruebas de función cognitiva. Los participantes también se familiarizaron con una sesión de fútbol, que consistió en ejercicios de habilidad y juegos reducidos para garantizar que tuvieran las habilidades necesarias para participar en la sesión de fútbol como parte de la prueba de ejercicio.

Durante la familiarización, los participantes también completaron la prueba de aptitud física en múltiples etapas para evaluar la aptitud física. Antes del inicio de la prueba de aptitud

física de varias etapas, a los participantes se les colocó un monitor de frecuencia cardíaca. Se monitorizó la frecuencia cardíaca durante toda la prueba de aptitud física de varias etapas y se registró la frecuencia cardíaca máxima al finalizar. Para alentar el máximo esfuerzo por parte de los participantes, los investigadores los alentaron verbalmente. El rendimiento en la prueba se determinó por la distancia total recorrida (m), y los participantes fueron asignados a grupos de alta y baja condición física, según la división mediana de la distancia de la prueba de aptitud física de varias etapas recorrida para cada sexo.

Principales ensayos

Se pidió a los participantes que registraran su ingesta dietética durante las 24 horas anteriores y durante la primera prueba experimental. Luego se replicaron las dietas registradas para la prueba principal posterior. Se pidió a los participantes que se abstuvieran de comer o beber desde las 9:00 p.m. de la noche anterior durante los dos días de los dos ensayos

principales. Se permitió agua en todo momento. También se pidió a los participantes que se abstuvieran de realizar cualquier actividad física inusualmente extenuante 24 horas antes de las pruebas principales. Se contactó a los padres/tutores por teléfono la noche anterior a cada prueba principal para garantizar el cumplimiento de estos requisitos.

En la mañana de las pruebas principales, después de pasar la noche, los participantes rápidos se presentaron a la Federación Deportiva de Los Ríos (entre las 8 am y las 8:30 am) y se les colocó un monitor de frecuencia cardíaca. Ambas pruebas siguieron un protocolo de tiempo equivalente, siendo la única diferencia la sesión de ejercicio de 60 minutos. Durante la prueba de ejercicio, los participantes completaron 60 minutos de fútbol; mientras permanecían sentados en las gradas durante la prueba de control en reposo. En ambos ensayos, a los participantes se les permitió interactuar libremente entre sí.

Procedimientos experimentales

Desayuno y almuerzo estandarizados.

Para determinar mejor los efectos únicos del ejercicio, durante las pruebas experimentales se proporcionó a los participantes un desayuno y un almuerzo estandarizados. El desayuno aportaba 1,5 g de hidratos de carbono por kg de masa corporal (leche, tostadas blancas y mantequilla). El almuerzo también proporcionó 1,5 g de carbohidratos por kg de masa corporal (sándwich de pollo, patatas fritas al horno y una manzana; con una alternativa de queso para vegetarianos). Ambas comidas se utilizaron para controlar la influencia de la nutrición en la función cognitiva, el potencial de interacción de la nutrición y el ejercicio para afectar la cognición y fueron exactamente iguales en ambos ensayos. A los participantes se les dio 15

minutos para consumir cada comida. Todos los participantes cumplieron con este requisito.

Muestras de sangre capilar.

Se prefirieron las muestras de sangre capilar a las muestras venosas debido a limitaciones éticas y también se han utilizado con éxito en una población de adolescentes. Se tomaron muestras de sangre capilar al inicio del estudio e inmediatamente, 30 min y 60 min post-ejercicio. Se tomó una muestra de sangre adicional 60 min después del almuerzo (2 h después del ejercicio).

La muestra se dejó reposar durante 30 min a temperatura ambiente antes de someterla a centrifugación a 1000 x g durante 15 min. Luego se extrajo el suero en viales de plástico de 500 µl para su posterior análisis. Todas las muestras se congelaron inmediatamente a -20 °C y se transfirieron a -80 °C lo antes posible. El coeficiente de variación intraensayo (%) para 8 mediciones repetidas fue del 6,9%.

Pruebas de función cognitiva

La batería de la prueba de función cognitiva duró aproximadamente 8 min y consistió en la prueba de Stroop y el Paradigma de Sternberg, completados en este orden en una computadora portátil. Cada prueba y nivel de prueba fueron precedidos por instrucciones en la pantalla y estímulos de práctica para volver a familiarizar a los participantes con la prueba y anular cualquier posible efecto de aprendizaje; Se descartaron los datos de los estímulos de práctica. Los participantes completaron las pruebas en grupos de 10 participantes, en silencio y separados para que no pudieran interactuar durante las pruebas. Los participantes se sentaron a 80-100 cm de la pantalla en una posición cómoda que ellos mismos eligieron. Se usaron auriculares con cancelación de sonido y las luces de la sala se

atenuaron para minimizar las perturbaciones externas y mejorar la visibilidad de la pantalla. Para cada prueba, las variables de interés fueron los tiempos de respuesta (ms) de las respuestas correctas (es decir, tiempo de reacción + tiempo de movimiento) y la proporción (%) de respuestas correctas realizadas. Para obtener una representación visual de los procedimientos de prueba cognitiva.

Prueba de Stroop

La prueba de Stroop mide el procesamiento de la información y la función ejecutiva (en particular el dominio del control inhibitorio). La prueba de Stroop constaba de dos niveles (congruente e incongruente). Durante ambos niveles, se colocó una palabra de prueba en el centro de la pantalla con un objetivo y un distractor colocados aleatoriamente en los lados izquierdo y derecho. Se pidió a los participantes que seleccionaran su respuesta utilizando las teclas de flecha apropiadas (izquierda o derecha) con los dedos índice y medio de la mano derecha respectivamente. En el nivel congruente, había 20 estímulos con los estímulos de prueba, objetivo y distractor, todos presentados en tinta blanca. El nivel incongruente (interferencia de color) contenía 40 estímulos, y los participantes seleccionaban el color de tinta en el que se mostraba la palabra de prueba, en lugar de la palabra en sí (por ejemplo, si "rojo" estaba escrito en fuente verde, la respuesta correcta sería verde). Para ambos niveles, los participantes recibieron instrucciones de responder lo más rápido y con mayor precisión posible. Las opciones permanecieron en la pantalla hasta que los participantes respondieron, con un intervalo entre estímulos de 1 s.

Paradigma de Sternberg

El paradigma de Sternberg mide el dominio de la memoria de trabajo y constaba de tres niveles

de complejidad ascendente. Cada nivel utilizó una carga de memoria de trabajo diferente (uno, tres o cinco ítems). El nivel de un ítem siempre utilizó el número "3" como objetivo y constaba de 16 estímulos de prueba. Los niveles de tres y cinco elementos tenían objetivos que se generaron aleatoriamente, y cada nivel contenía 32 estímulos de prueba. Al comienzo de cada nivel, los elementos objetivo se mostraban con instrucciones para presionar la tecla de flecha derecha (con el dedo medio de su mano derecha) si había un objetivo presente, o la tecla de flecha izquierda (con el dedo índice de su mano derecha) como distractor. La respuesta correcta se equilibró entre las teclas de flecha izquierda y derecha para cada nivel. En todos los niveles, los estímulos de elección se presentaron en el centro de la pantalla, con un intervalo entre estímulos de 1 s.

Protocolo de ejercicio

El ejercicio consistió en una sesión de Fútbol de 60 min. Se eligió el fútbol porque es de alta intensidad y de naturaleza intermitente y, por lo tanto, replica los patrones de actividad típicamente observados en esta población; además de ser una forma divertida y popular de actividad basada en juegos para los jóvenes y, por lo tanto, tiene validez. Se seleccionó una duración de 60 min para avanzar en trabajos anteriores que examinaban los efectos de 60 min de baloncesto, mientras que la investigación que utiliza protocolos de fútbol suele tener una duración más corta (20 min). Un experimentado entrenador de fútbol impartió las sesiones a grupos de 10 participantes, en las instalaciones al aire libre de la Federación Deportiva de Los Ríos.

La sesión consistió en un calentamiento (5 min), ejercicios de habilidad (25 min) y juegos reducidos (5 vs 5; 30 min). La frecuencia cardíaca se controló continuamente durante

toda la sesión. La frecuencia cardíaca máxima, registrada al final de la prueba de aptitud física de varias etapas, y la frecuencia cardíaca durante la sesión de fútbol se utilizaron para calcular la intensidad relativa del ejercicio. Además, se usaron dispositivos del Sistema de Posicionamiento Global (GPS) para cuantificar la carga externa durante la sesión de fútbol utilizando unidades GPS portátiles. Las unidades de GPS se adaptaron para ubicarse entre las escápulas, en la base de la columna cervical, mediante un arnés de hombro elástico. Después de cada sesión de ejercicio, los datos se descargaron al software Team AMS. Las variables de interés se expresan como distancia total recorrida (m), así como distancia recorrida a baja velocidad ($< 9 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$), velocidad moderada ($9\text{--}13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) y alta velocidad ($> 13 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$) [47].

Análisis estadístico

Los datos de la prueba de Stroop y el paradigma de Sternberg se analizaron utilizando el software The R Project for Statistical Computing. Los análisis de tiempo de respuesta y precisión se realizaron mediante el análisis de covarianza, con la circunferencia de la cintura como covariable, dado el efecto de la circunferencia de la cintura en la función ejecutiva. Antes de los análisis, los tiempos de respuesta (de las respuestas correctas) se transformaron logarítmicamente para mostrar el sesgo hacia la derecha, típico de los tiempos de respuesta humanos. Inicialmente se realizó un análisis de covarianza de tres vías (prueba por tiempo y aptitud) (con medidas repetidas para prueba y tiempo). Cuando se produjeron interacciones de tres vías, se realizaron el análisis de covarianza de medidas repetidas de dos vías (prueba por tiempo) separadas para cada grupo de fitness. Para explorar interacciones bidireccionales estadísticamente significativas (prueba por tiempo), se realizaron

pruebas *t* de muestras pareadas con una corrección de Bonferroni para comparaciones múltiples para comparar entre las pruebas en cada punto temporal. Estos análisis permiten explorar los efectos de la sesión de fútbol y el efecto moderador del fitness sobre la función cognitiva posterior. Para los análisis del tiempo de respuesta, se aplicaron un mínimo ($< 200 \text{ ms}$) y un máximo ($1500\text{--}3000 \text{ ms}$, dependiendo de la complejidad de la tarea) para eliminar cualquier respuesta excesivamente rápida o lenta.

El análisis del factor neurotrófico derivado del cerebro se realizó utilizando SPSS, adoptando también un análisis de covarianza de tres vías (prueba por tiempo por aptitud) (con medidas repetidas para prueba y tiempo). Las variables de frecuencia cardíaca y GPS se compararon entre los grupos de alta y baja condición física mediante una prueba *t* de muestras independientes. Todos los datos se presentan como media \pm DE, a menos que se indique lo contrario. Alfa (α) se fijó en $p < .05$.

Resultados

Características del ejercicio

Durante los 60 min de fútbol, la frecuencia cardíaca promedio fue de 151 ± 16 latidos por min^{-1} , la frecuencia cardíaca máxima fue de 186 ± 13 latidos por min^{-1} y la intensidad relativa del ejercicio fue de $75 \pm 8 \%$ (Tabla 2). Además, la frecuencia cardíaca promedio ($t(32) = -2.8$, $p = .009$) y máxima ($t(32) = 2.7$, $p = 0.010$), así como la intensidad relativa del ejercicio ($t(32) = -4.1$, $p < .001$), fueron menores en el grupo de alto ajuste en comparación con el de bajo ajuste (Tabla 2). La frecuencia cardíaca promedio durante toda la prueba de ejercicio de 4 h (105 ± 13 latidos por min^{-1}) fue mayor que durante la prueba de reposo de 4 h completa (84 ± 11 latidos por min^{-1} , $t(35) = 11.8$, $p < 0.001$).

Tabla 2 Frecuencia cardíaca promedio y máxima, intensidad relativa del ejercicio y características del GPS para el grupo en general, así como las divisiones de condición física alta y baja, durante la sesión de fútbol de 60 minutos. Los datos son medias \pm DE.

Variable	General	Ajuste alto	Ajuste bajo
<i>Ritmo cardíaco</i>			
Media de frecuencia cardíaca (latidos*min ⁻¹)	151 \pm 16	144 \pm 16 *	158 \pm 12
Frecuencia cardíaca máxima (latidos*min ⁻¹)	186 \pm 13	180 \pm 11 *	191 \pm 11
Intensidad relativa del ejercicio (% de frecuencia cardíaca máxima) ^b	75 \pm 8	70 \pm 7 *	80 \pm 6
<i>GPS</i>			
Distancia total (m)	2788 \pm 432	2783 \pm 399	2791 \pm 474
Distancia de baja velocidad (m)	2129 \pm 278	2099 \pm 274	2158 \pm 287
Distancia de velocidad moderada (m)	477 \pm 120	484 \pm 107	469 \pm 133
Distancia de alta velocidad (m)	177 \pm 84	191 \pm 68	161 \pm 97
* Grupo de alta aptitud inferior al de baja aptitud, p < 0,01			

Fuente: Los autores

Durante la sesión de Fútbol, la distancia total media recorrida fue de 2788 \pm 432 m. De ellos, 2129 \pm 278 m se recorrieron a baja velocidad (< 9 km*h⁻¹), 477 \pm 120 m a velocidad moderada (9–13 km*h⁻¹) y 177 \pm 84 m a alta velocidad (> 13 km*h⁻¹). Todas las variables del GPS durante la sesión de fútbol de 60 min fueron similares entre los grupos de alta y baja condición física (Distancia total; p = 0.959. Distancia a baja velocidad; p = 0.542. Distancia a velocidad moderada; p = 0.710. Distancia a alta velocidad; p = 0.305, Tabla 2).

Función cognitiva

Los datos de ambas pruebas cognitivas, en todos los puntos temporales, para las pruebas de ejercicio y de control se muestran en la Tabla 3. Dado que no hubo diferencias al inicio entre las pruebas de ejercicio y de reposo (todas p > 0.05) y para facilitar la interpretación, las cifras se muestran como cambios desde el punto de referencia. En la Tabla 1 complementaria se muestra una descripción general de los resultados de los análisis estadísticos.

Prueba de stroop

Tiempos de respuesta

Nivel congruente

Los tiempos de respuesta generales fueron más rápidos en el grupo de alta aptitud en comparación con el grupo de baja aptitud (efecto principal de la condición física: alta aptitud; 719 \pm 134 ms, baja aptitud; 794 \pm 164 ms; F (1,5304) = 130.2, p < 0.001). Los tiempos de respuesta generales fueron similares entre la prueba de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; p = 0.363) y se volvieron más rápidos a lo largo del día (efecto principal del tiempo; F (3, 5304) = 18.5, p < 0.001).

El patrón de cambio entre la prueba de ejercicio y la de reposo fue similar (interacción prueba por tiempo: p = 0.373). Sin embargo, el patrón de cambio entre las pruebas de ejercicio y reposo fue diferente entre los grupos de alta y baja condición física (prueba por tiempo por interacción de condición física; F (3, 5304) = 4.8, p = 0.002). El análisis de covarianza separado reveló una diferencia en el patrón de cambio para los participantes con bajo ajuste (prueba por interacción de tiempo; F (3, 2619) = 4.10, p = 0.007,). Específicamente, los

tiempos de respuesta fueron más rápidos 45 min después del descanso sentado en comparación con 45 min después del ejercicio ($p = 0.045$). Sin embargo, en los participantes con alta

condición física, los tiempos de respuesta fueron similares a lo largo de la mañana entre las pruebas de ejercicio y de reposo (interacción prueba por tiempo; $p = 0.231$).

Tabla 3 Datos de la función cognitiva en las pruebas de ejercicio y control, para los grupos de alto y bajo estado físico, así como para el grupo en general. Los datos son medias \pm DE.

Test	Nivel	Variable	Grupo	Prueba de control				Prueba de ejercicio				
				Pre descanso	Inm después del descanso	45 min	90 min	Pre-ejerc.	Inm post-ejerc.	45 min post-ejerc.	90 min post-ejerc.	
Stroop	Simple	Tiempo de respuesta (ms)	Ajuste bajo	857 \pm 192	812 \pm 179	753 \pm 136	756 \pm 144	828 \pm 172	755 \pm 161	807 \pm 152	785 \pm 175	
			Ajuste alto	772 \pm 170	717 \pm 141	723 \pm 150	712 \pm 149	746 \pm 145	712 \pm 78	684 \pm 85	695 \pm 134	
			General	815 \pm 185	764 \pm 165	738 \pm 141	734 \pm 145	787 \pm 161	733 \pm 127	745 \pm 139	740 \pm 161	
		Exactitud (%)	Ajuste bajo	99.7 \pm 1.2	95.8 \pm 7.7	94.2 \pm 8.4	94.7 \pm 9.0	99.4 \pm 1.6	96.9 \pm 4.2	97.8 \pm 3.1	96.7 \pm 5.4	
			Ajuste alto	97.2 \pm 4.0	97.8 \pm 3.6	95.8 \pm 5.9	96.1 \pm 4.4	98.9 \pm 2.6	97.8 \pm 3.1	95.8 \pm 6.3	95.0 \pm 5.9	
			General	98.5 \pm 3.1	96.8 \pm 6.0	95.0 \pm 7.2	95.4 \pm 7.0	99.2 \pm 2.2	97.4 \pm 3.7	96.8 \pm 5.0	95.8 \pm 5.5	
	Complejo	Tiempo de respuesta (ms)	Ajuste bajo	1130 \pm 232	1074 \pm 236	1059 \pm 219	1017 \pm 285	1168 \pm 226	1094 \pm 291	1089 \pm 242	1042 \pm 223	
			Ajuste alto	1037 \pm 253	939 \pm 192	954 \pm 202	973 \pm 235	957 \pm 202	950 \pm 206	920 \pm 185	953 \pm 193	
			General	1084 \pm 243	1006 \pm 224	1007 \pm 216	995 \pm 257	1062 \pm 237	1022 \pm 260	1005 \pm 231	997 \pm 214	
		Exactitud (%)	Ajuste bajo	96.1 \pm 5.4	94.9 \pm 6.7	92.7 \pm 10.5	92.9 \pm 10.0	96.7 \pm 4.3	91.4 \pm 13.5	95.3 \pm 4.9	93.6 \pm 11.2	
			Ajuste alto	96.3 \pm 4.0	94.9 \pm 4.6	94.2 \pm 5.4	95.1 \pm 5.0	96.3 \pm 3.9	94.9 \pm 5.2	93.6 \pm 5.7	91.8 \pm 5.4	
			General	96.2 \pm 4.6	94.9 \pm 5.6	92.9 \pm 8.3	94.0 \pm 7.8	96.5 \pm 4.0	93.1 \pm 10.2	94.4 \pm 5.2	92.7 \pm 8.7	
Sternberg	Un ítem	Tiempo de respuesta (ms)	Ajuste bajo	588 \pm 164	520 \pm 102	531 \pm 110	480 \pm 118	533 \pm 135	502 \pm 83	538 \pm 135	535 \pm 120	
			Ajuste alto	516 \pm 97	486 \pm 87	507 \pm 120	482 \pm 76	517 \pm 111	473 \pm 56	476 \pm 85	508 \pm 91	
			General	552 \pm 138	503 \pm 95	519 \pm 114	481 \pm 98	525 \pm 122	488 \pm 71	507 \pm 115	521 \pm 106	
		Exactitud (%)	Ajuste bajo	96.5 \pm 5.3	97.9 \pm 4.3	95.8 \pm 5.3	94.8 \pm 9.9	96.2 \pm 5.3	94.8 \pm 7.5	95.5 \pm 5.6	93.8 \pm 10.9	
			Ajuste alto	97.6 \pm 3.1	97.2 \pm 4.9	96.9 \pm 4.4	97.2 \pm 4.4	97.9 \pm 3.7	97.2 \pm 4.4	97.2 \pm 3.8	95.8 \pm 5.3	
			General	97.0 \pm 4.4	97.6 \pm 4.6	96.4 \pm 4.8	96.0 \pm 7.6	97.0 \pm 4.6	96.0 \pm 6.2	96.4 \pm 4.8	94.8 \pm 8.5	
		Tres ítems	Tiempo de respuesta (ms)	Ajuste bajo	743 \pm 185	718 \pm 157	691 \pm 185	697 \pm 153	696 \pm 118	705 \pm 158	698 \pm 146	674 \pm 186
				Ajuste alto	660 \pm 149	621 \pm 113	597 \pm 100	613 \pm 85	628 \pm 111	631 \pm 123	606 \pm 98	672 \pm 128
				General	701 \pm 171	670 \pm 144	644 \pm 154	655 \pm 129	662 \pm 118	668 \pm 145	652 \pm 131	673 \pm 157
	Exactitud (%)		Ajuste bajo	97.1 \pm 3.5	96.0 \pm 5.1	93.2 \pm 8.0	92.9 \pm 10.0	96.2 \pm 5.1	95.7 \pm 6.1	95.8 \pm 5.1	95.1 \pm 5.1	
			Ajuste alto	97.2 \pm 2.6	96.2 \pm 4.7	95.3 \pm 5.4	95.0 \pm 4.9	95.3 \pm 6.0	95.3 \pm 3.8	95.7 \pm 4.6	94.8 \pm 5.7	
			General	97.1 \pm 3.0	96.1 \pm 4.9	94.3 \pm 6.8	93.9 \pm 7.9	95.7 \pm 5.5	95.5 \pm 5.0	95.7 \pm 4.8	95.0 \pm 5.3	
	Cinco ítems	Tiempo de respuesta (ms)	Ajuste bajo	926 \pm 205	802 \pm 222	762 \pm 259	787 \pm 182	887 \pm 172	878 \pm 215	794 \pm 189	838 \pm 181	
			Ajuste alto	799 \pm 175	813 \pm 194	701 \pm 154	745 \pm 146	771 \pm 128	741 \pm 125	727 \pm 118	794 \pm 147	
			General	863 \pm 199	807 \pm 206	732 \pm 213	766 \pm 164	829 \pm 161	810 \pm 187	761 \pm 159	816 \pm 164	
		Exactitud (%)	Ajuste bajo	93.8 \pm 6.5	89.4 \pm 11.9	86.8 \pm 16.5	90.5 \pm 13.9	91.8 \pm 9.5	89.8 \pm 9.2	88.7 \pm 13.4	86.8 \pm 12.8	
			Ajuste alto	94.1 \pm 6.9	93.2 \pm 6.5	92.2 \pm 6.7	93.1 \pm 7.3	93.2 \pm 7.1	94.3 \pm 5.8	92.7 \pm 6.8	91.7 \pm 6.8	
			General	92.5 \pm 8.3	92.0 \pm 7.9	90.7 \pm 10.6	89.2 \pm 10.4	92.5 \pm 8.3	92.0 \pm 7.9	90.7 \pm 10.6	89.2 \pm 10.4	

Fuente: Los autores

Nivel incongruente

Los tiempos de respuesta generales fueron más rápidos en el grupo de alta aptitud en comparación con el de baja aptitud (efecto principal de la aptitud física; alta aptitud; 960 ± 209 ms, baja aptitud; 1084 ± 243 ms; $F(1, 10,668) = 317.1$, $p < 0.001$). Los tiempos de respuesta generales fueron similares entre la prueba de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0.994$) y se volvieron más rápidos a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $F(3, 10,668) = 22.4$, $p < 0.001$). El patrón de cambio fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo: $p = 204$), al igual que el patrón de cambio entre los grupos de alto y bajo estado físico (prueba por interacción de tiempo por condición física; $p = 0.099$).

Exactitud

Nivel congruente

La precisión general fue similar entre los grupos de alto y bajo fitness (efecto principal del fitness; $p = 0.316$). La precisión también fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0.324$) y a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $p = .409$). El patrón de cambio a lo largo del día fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo; $p = 0.428$), al igual que el patrón de cambio entre los grupos de alto y bajo estado físico (prueba por interacción de tiempo por condición física; $p = 0.425$).

Nivel incongruente

La precisión general fue similar entre los grupos de alto y bajo fitness (efecto principal del fitness; $p = 0.317$). La precisión también fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0.317$) y a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $p = 0.410$). El patrón de cambio a lo largo del

día fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo; $p = 0.410$), al igual que el patrón de cambio entre el grupo de alta y baja condición física (prueba por interacción de tiempo por condición física; $p = 0.413$).

Paradigma de Sternberg

Tiempos de respuesta

Un ítem

Los tiempos de respuesta generales fueron más rápidos en el grupo de alta aptitud en comparación con sus contrapartes de baja aptitud (efecto principal de la condición física; alta aptitud; 496 ± 91 ms, baja aptitud; 529 ± 124 ms, $F(1, 4372) = 44.1$, $p < 0.001$). Sin embargo, los tiempos de respuesta fueron similares entre las pruebas de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0.639$) pero se volvieron más rápidos a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $F(3, 4372) = 11.8$, $p < 0.001$). El patrón de cambio en los tiempos de respuesta fue diferente entre la prueba de ejercicio y la de reposo (interacción prueba por tiempo: $F(3, 4372) = 9.2$, $p < 0.001$) y además, el patrón de cambio entre la prueba de ejercicio y de reposo fue diferente entre los participantes de alto y bajo estado físico (prueba por tiempo mediante interacción de estado físico; $F(3, 4372) = 4.2$, $p = 0.006$).

El análisis de covarianza separado reveló una diferencia en el patrón de cambio para los participantes de alto ajuste (prueba por interacción de tiempo; $F(3, 2225) = 3.0$, $p = 0.030$). Específicamente, los tiempos de respuesta fueron más rápidos 45 min post-ejercicio, en comparación con 45 min de reposo sentado ($p = 0.022$). El análisis de covarianza separado también reveló una diferencia en el patrón de cambio para los participantes con baja condición física (prueba por interacción de tiempo; $F(3, 2147) = 9.7$, $p < 0.001$).

Específicamente, los participantes con baja condición física fueron más rápidos 90 minutos después del descanso sentado, en comparación con 90 minutos después del ejercicio ($p = 0.020$).

Tres elementos

Los tiempos de respuesta generales fueron más rápidos en el grupo de alto ajuste en comparación con el de bajo (efecto principal del fitness; alto ajuste: 628 ± 115 ms, bajo ajuste: 703 ± 160 ms, $F(1, 8725) = 184.4$, $p < 0.001$). Sin embargo, los tiempos de respuesta fueron similares entre las pruebas de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0.327$) pero se volvieron más rápidos a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $F(3, 8725) = 7.5$, $p < 0.001$). El patrón de cambio fue diferente entre las pruebas de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo: $F(3, 8725) = 2.7$, $p = 0.042$), al igual que el patrón de cambio a lo largo del día entre las pruebas de alto y bajo nivel de condición física. grupos (prueba por tiempo por interacción de aptitud; $F(3, 8725) = 3.9$, $p = 0.009$).

El análisis de covarianza separado reveló un patrón de cambio similar entre la prueba de ejercicio y de reposo para los participantes con baja condición física (prueba por interacción de tiempo; $p = 0.390$), sin embargo, hubo una diferencia en el patrón de cambio para los participantes de alta condición física de los participantes en forma (prueba por interacción de tiempo; $F(3, 4388) = 6.5$, $p < 0.001$). Específicamente, los tiempos de respuesta fueron más rápidos 90 min después del descanso sentado, en comparación con 90 min después del ejercicio ($p < 0.001$).

Cinco elementos

Los tiempos de respuesta generales también fueron más rápidos en el grupo de alto ajuste en

comparación con el de bajo ajuste en el nivel de cinco ítems del paradigma de Sternberg (efecto principal de la aptitud; alto ajuste: 761 ± 151 ms, bajo ajuste: 834 ± 207 ms, $F(1, 8236) = 99.8$, $p < 0.001$). Los tiempos de respuesta generales fueron más rápidos en la prueba de control en comparación con la prueba de ejercicio (efecto principal de la prueba; ejercicio: 803 ± 168 ms, control: 791 ± 200 ms, $F(1, 8236) = 4.0$, $p = 0.046$) y se convirtieron en más rápido a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $F(3, 8236) = 27.1$, $p < 0.001$).

El patrón de cambio fue diferente entre la prueba de ejercicio y la de reposo (prueba por interacción de tiempo: $F(3, 8236) = 5.6$, $p < 0.001$) y además, el patrón de cambio a lo largo del día fue diferente entre las pruebas de ejercicio alto y bajo. -grupos de ajuste (prueba por tiempo mediante interacción de fitness; $F(3, 8236) = 4.6$, $p = .003$). El análisis de covarianza separado reveló una diferencia en el patrón de cambio para los participantes con bajo ajuste (prueba por interacción de tiempo; $F(3, 4041) = 3.4$, $p = 0.018$).

Específicamente, los tiempos de respuesta fueron más lentos inmediatamente después del ejercicio en comparación con inmediatamente después del descanso sentado ($p = .012$) y más lentos 90 min después del ejercicio en comparación con 90 min después del descanso sentado ($p = 0.033$). El análisis de covarianza separado también reveló una diferencia en el patrón de cambio para los participantes de alto ajuste (prueba por interacción de tiempo; $F(3, 4195) = 7.7$, $p < 0.001$). Específicamente, los tiempos de respuesta fueron más rápidos 45 min después del descanso sentado en comparación con 45 min después del ejercicio ($p = 0.003$).

Exactitud

Un ítem

La precisión general fue similar entre los grupos de alto y bajo nivel de condición física (efecto principal de la condición física; $p = 0,314$), similar entre las pruebas de control con ejercicio y reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0,314$). y similar a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $p = 0,398$). El patrón de cambio a lo largo del día fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo; $p = 0,396$), al igual que el patrón de cambio entre los participantes con alto y bajo estado físico (prueba por interacción de tiempo por condición física; $p = 0,399$).

Tres elementos

La precisión general fue similar entre los grupos de alto y bajo nivel de condición física (efecto principal de la condición física; $p = 0,315$), similar entre las pruebas de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0,317$) y similar a lo largo del transcurso de la prueba de día (efecto principal del tiempo; $p = 0,398$). El patrón de cambio a lo largo del día fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo; $p = 0,394$), al igual que el patrón de cambio entre los grupos de alto y bajo estado físico (prueba por interacción de tiempo por condición física; $p = 0,390$).

Cinco elementos

La precisión general fue similar entre los grupos de alto y bajo nivel de condición física (efecto principal de la condición física; $p = 0,321$), similar entre las pruebas de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = 0,316$) y similar a lo largo del transcurso de la prueba de día (efecto principal del tiempo; $p = 0,404$). El patrón de cambio a lo largo del día fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo; $p = 0,400$), al igual que el patrón de cambio entre los grupos de alto y bajo estado físico (prueba por interacción de tiempo por condición física; $p = 0,412$).

Factor neurotrófico derivado del cerebro

La concentración sérica del factor neurotrófico derivado del cerebro fue similar entre los grupos de alta y baja condición física (efecto principal de la condición física; alta condición física: $27.1 \pm 6.8 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$, baja condición física: $29.1 \pm 7.8 \text{ ng}\cdot\text{ml}^{-1}$, $p = 0,210$). Las concentraciones séricas del factor neurotrófico derivado del cerebro también fueron similares entre la prueba de ejercicio y de reposo (efecto principal de la prueba; $p = .082$) y también fueron similares a lo largo del día (efecto principal del tiempo; $p = 0,085$). El patrón de cambio fue similar entre la prueba de ejercicio y de reposo (prueba por interacción de tiempo; $p = 0,167$), al igual que el patrón de cambio entre los grupos de alto y bajo estado físico (prueba por interacción de tiempo por condición física; $p = 0,704$, Tabla 4).

Tabla 4 Concentraciones séricas del factor neurotrófico derivado del cerebro ($\text{ng}\cdot\text{ml}^{-1}$) a lo largo de las pruebas de reposo y ejercicio, para los grupos de alto y bajo estado físico, así como para el grupo en general. Los datos son medias \pm DE.

Grupo	Prueba de control					Prueba de ejercicio				
	Pre-descanso	Inmediato	30 min	60 min	120 min	Pre-ejerc.	Inmediato post-ejerc.	30 min post-ejerc.	60 min post-ejerc.	120 min post-ejerc.
Ajuste bajo	28.7 \pm 6.3	29.2 \pm 7.4	28.8 \pm 6.2	31.1 \pm 6.0	30.2 \pm 8.2	28.1 \pm 5.5	31.0 \pm 10.6	28.4 \pm 9.2	27.2 \pm 8.2	28.5 \pm 9.9
Ajuste alto	26.1 \pm 5.0	26.3 \pm 8.4	28.1 \pm 6.7	29.3 \pm 6.3	31.1 \pm 7.3	23.4 \pm 4.3	26.3 \pm 7.2	26.8 \pm 6.8	27.0 \pm 5.9	26.3 \pm 7.5
General	27.4 \pm 5.8	27.8 \pm 8.0	28.5 \pm 6.3	30.2 \pm 6.1	30.6 \pm 7.7	25.8 \pm 5.4	28.6 \pm 9.2	27.6 \pm 8.0	27.1 \pm 7.1	27.4 \pm 8.7

Fuente: Los autores

Discusión

Los hallazgos del presente estudio muestran que la actividad futbolística aguda no influyó en el procesamiento posterior de la información, el control inhibitorio y los tiempos de respuesta de la memoria de trabajo para este grupo de adolescentes en general. Sin embargo, los tiempos de respuesta del grupo de alta aptitud fueron más rápidos en todos los niveles de tareas cognitivas, en comparación con el grupo de baja aptitud. Al considerar el papel moderador del fitness en las respuestas agudas al ejercicio, 60 minutos de fútbol fueron beneficiosos para la memoria de trabajo en el grupo de alto fitness, mientras que la memoria de trabajo tendió a no verse afectada por el ejercicio en el grupo de bajo fitness. El presente estudio también es el primero en medir la evolución temporal del factor neurotrófico derivado del cerebro post-ejercicio en una población de adolescentes, con el factor neurotrófico derivado del cerebro sérico no afectado por la actividad aguda del fútbol y el estado físico.

El presente estudio demuestra que los tiempos de respuesta, durante el procesamiento de la información, el control inhibitorio y las tareas de memoria de trabajo, son más rápidos en los adolescentes con una mayor condición física, en comparación con sus homólogos de baja condición física. Esto respalda los metanálisis recientes en niños y adolescentes que demuestran que las intervenciones de ejercicio crónico, cuyo objetivo es mejorar la condición física, conducen a mejoras en la función cognitiva (Sabarit Peñalosa, 2024). Los hallazgos del presente estudio amplían los hallazgos transversales previos en niños y adultos a tres dominios distintos de la función cognitiva (procesamiento de la información, control inhibitorio y memoria de trabajo) en adolescentes. Los tiempos de respuesta fueron

consistentemente más rápidos en el grupo de alto ajuste en los niveles congruentes e incongruentes de la Tarea Stroop, así como en los tres niveles del Paradigma de Sternberg, en comparación con el grupo de bajo ajuste. Esta cognición mejorada en adolescentes con alto estado físico puede explicar el mejor rendimiento académico en jóvenes con alto estado físico que se ha informado anteriormente (Bernate, 2024). Los hallazgos del estudio actual, junto con trabajos anteriores, resaltan la importancia de niveles altos de la aptitud física para la función cognitiva y el rendimiento académico en niños y adolescentes.

El estudio actual también demuestra que los beneficios agudos para la memoria de trabajo después del ejercicio fueron exclusivos del grupo de alta condición física. Este es un hallazgo importante, dado que se sugiere que la aptitud física es un moderador clave de la relación ejercicio-cognición (Cid, 2018); sin embargo, hay pocos estudios empíricos que investiguen esto directamente, especialmente en adolescentes. Un trabajo reciente ha investigado esto mediante una sesión de baloncesto de 60 minutos y una sesión de ciclismo de 20 minutos (Hernandez Zamora, 2022).

Aunque la modalidad y la duración del ejercicio son muy diferentes, ambos estudios concluyeron que la mejora en la cognición, después de una serie aguda de ejercicio, fue mayor en aquellos considerados en alta forma física; en línea con los hallazgos del presente estudio. Una explicación para esto puede ser las diferencias en la intensidad relativa del ejercicio durante la actividad de fútbol, con el grupo de baja condición física trabajando a una intensidad relativa de ejercicio más alta (~ 80% frecuencia cardíaca máxima) en comparación con los niños con mayor condición física

(~70% frecuencia cardíaca máxima). Es posible que para los niños con baja condición física el ejercicio fuera de una intensidad demasiado alta y, por tanto, demasiado exigente. Una revisión sugiere que las mejoras en la función cognitiva, después del ejercicio, tienden a ocurrir en intensidades moderadas con efectos atenuados en intensidades ligeras y altas; lo cual es consistente con una teoría de U invertida. Una explicación adicional podría ser la hipótesis de la hipofrontalidad transitoria, según la cual la actividad neuronal en el cerebro (principalmente la corteza prefrontal) se reduce como resultado del ejercicio de muy alta intensidad (Bernate, 2024).

El presente estudio también proporciona evidencia novedosa sobre los efectos del fútbol en la función cognitiva posterior (particularmente la memoria de trabajo) en adolescentes, con solo un estudio previo que investigó los efectos agudos del fútbol (Hernandez Zamora, 2022). La mayoría de los trabajos anteriores en adolescentes han utilizado formas tradicionales de ejercicio; como correr continuamente, caminar y andar en bicicleta (Bernate, 2024). Si bien los protocolos de ejercicio tradicionales son fáciles de controlar en un laboratorio, no reflejan necesariamente los patrones de actividad habituales de los jóvenes.

El uso del fútbol puede proporcionar un modelo atractivo; viable para los adolescentes y, por lo tanto, tiene aplicabilidad en el mundo real. Si bien los beneficios cognitivos después del fútbol fueron exclusivos de los individuos con buena condición física y del dominio de la memoria de trabajo en el presente estudio, tampoco hubo evidencia de una disminución en el rendimiento de los participantes con baja condición física debido al ejercicio. Esto sugiere que el ejercicio basado en juegos, como

el fútbol, aún puede ser un modo de actividad válido para los jóvenes, dados los conocidos beneficios para la salud, la popularidad y la facilidad de acceso al equipo necesario (Bright, 2022).

El presente estudio es el primero en examinar la evolución temporal del factor neurotrófico derivado del cerebro circulante en adolescentes después de una serie aguda de ejercicio. Esta es una brecha de conocimiento importante, dado el papel mediador potencial del factor neurotrófico derivado del cerebro en la relación ejercicio-cognición y la naturaleza transitoria de las mejoras observadas en la función cognitiva después del ejercicio. Mientras que el factor neurotrófico derivado del cerebro periférico aumenta inmediatamente después de episodios agudos de ejercicio en adultos, los datos del estudio actual no proporcionaron evidencia de este efecto en adolescentes.

El aumento del factor neurotrófico derivado del cerebro post-ejercicio se asocia positivamente con la intensidad y duración de la serie de ejercicio. La serie de ejercicios en el estudio actual tuvo una duración suficiente; sin embargo, la intensidad puede no haber sido suficiente para provocar aumentos en el factor neurotrófico derivado del cerebro post-ejercicio. Sin embargo, el presente estudio demostró mejoras cognitivas después del ejercicio, a pesar de la falta de cambios en el factor neurotrófico derivado del cerebro periférico.

Esto puede explicarse por el hecho de que el factor neurotrófico derivado del cerebro central (en el cerebro) no se midió en el presente estudio, debido a las limitaciones de dicha evaluación en adolescentes, y posiblemente el factor neurotrófico derivado del cerebro central es más importante para los beneficios

cognitivos del ejercicio. Las mejoras en los tiempos de respuesta observadas en el presente estudio, sin ningún cambio notable en el factor neurotrófico derivado del cerebro periférico, pueden explicarse por esto o sugerir que otro mecanismo está mediando estos beneficios cognitivos.

Una posible limitación del presente estudio es que no se tuvo en cuenta el nivel socioeconómico de los participantes. Se ha informado que el nivel socioeconómico está implicado en el desarrollo de los procesos de atención en niños pequeños y la función ejecutiva durante la infancia y la adolescencia. Sin embargo, hay evidencia que sugiere que un nivel socioeconómico más bajo se asocia con niveles más bajos de actividad física y aptitud física en los adolescentes; lo que sugiere que el efecto del estatus socioeconómico sobre la función cognitiva puede estar, en parte, mediado por la actividad física y la aptitud física (Castillo González, 2023).

La relación entre la aptitud física y la función cognitiva en el presente estudio es transversal y, por lo tanto, no se puede atribuir causalidad. Sin embargo, este sigue siendo un hallazgo importante ya que esta relación fue evidente en todos los niveles de prueba, tanto para la prueba de Stroop como para el paradigma de Sternberg. Si bien el número de pruebas utilizadas tanto en las pruebas de Stroop como en las de Sternberg podría considerarse una limitación, fue necesario reducir la cantidad para facilitar el uso de ambas pruebas en un plazo realista. La elección de la condición de control (reposo sentado) en el presente estudio también podría verse como una limitación potencial, particularmente porque la sesión de ejercicio incluyó elementos tanto físicos como cognitivos. Sin embargo, sería difícil igualar las interacciones sociales de la sesión de ejercicio y

el uso de dicha condición de control también ofrece validez ecológica. Una limitación potencial adicional es la medición del tiempo de respuesta global (en lugar del tiempo de reacción y el tiempo de movimiento por separado), debido a los aspectos prácticos de realizar tales mediciones en estudios de campo de esta naturaleza.

Conclusión

En general, los hallazgos del presente estudio muestran que los participantes con alta condición física obtuvieron mejores resultados en las pruebas de procesamiento de información, control inhibitorio y todos los niveles de tareas de memoria de trabajo en comparación con el grupo con baja condición física. Además, el estudio actual también proporciona evidencia novedosa que respalda la aptitud física como moderador de la relación ejercicio-cognición. En particular, la memoria de trabajo mejoró en el grupo de alto estado físico 45 min después del ejercicio, mientras que no se vio afectada en el grupo de bajo estado físico.

El presente estudio también proporciona evidencia novedosa de que una sesión de fútbol de 60 minutos no alteró la concentración periférica del factor neurotrófico derivado del cerebro en una población de adolescentes, ni el factor neurotrófico derivado del cerebro se vio afectado por la condición física. En general, estos hallazgos sugieren que la aptitud física es un determinante importante del rendimiento cognitivo en los adolescentes; y que las sesiones intensas de ejercicio, apropiadas para los niveles de condición física de los jóvenes, también pueden mejorar la cognición posterior. Esto sugiere que las oportunidades de ejercicio durante la jornada escolar deben ser apropiadas para los jóvenes y, lo que es más importante,

que un enfoque de “talla única” no generará beneficios cognitivos para todos los jóvenes.

Referencias Bibliográficas

- Bernabéu Acosta, F. (2019). Influencia de la actividad física sobre el rendimiento académico en alumnos de secundaria.
- Bernate, R. (2024). Influencia de las habilidades físicas básicas en el proceso cognitivo: una revisión sistemática. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (54), 84-93., 84-93.
- Blanco-Espitia, C. (2023). Medición del consumo máximo de oxígeno en futbolistas profesionales de Bogotá. *Revista Digital: Actividad Física y Deporte*, 9(1), 1-6.
- Bright, H. (2022). Los Efectos Agudos de los Protocolos de Chalecos Lastrados en el Rendimiento de Sprint de 20 metros en Jugadores de Fútbol Jóvenes. *RED: Revista de entrenamiento deportivo Journal of Sports Training*, 36(4), 13-22.
- Castillo González, S. (2023). Composición corporal y aptitud física en las divisiones menores de un equipo de fútbol profesional colombiano. *Retos: Nuevas Perspectivas de Educación Física, Deporte y Recreación*, 48.
- Cid, M. (2018). Relación entre el ejercicio físico y el rendimiento académico escolar: revisión actualizada de estudios. *EmásF: revista digital de educación física*, (53), 168-184.
- Fajardo, S. (2023). Comportamiento de los futbolistas durante un encuentro de fútbol. *Revista Académica Internacional de Educación Física*, 3(5), 40-56.
- Firmansyah, P. (2024). The Football Players on Plyometric Exercise: A Systematic Review. *Retos: nuevas tendencias en educación física, deporte y recreación*, (51), 442-448.
- Hernandez Zamora, M. (2022). Correlación entre la actividad física y el rendimiento académico. (Doctoral dissertation, Corporación Universidad de la Costa).
- Jerez-Mayorga, D. (2013). Efectos agudos de diferentes protocolos de estiramiento en la capacidad de salto vertical y sprint en futbolistas universitarios. *Revista Horizonte*, 105-117.
- Li, Y. (2023). Explorar la viabilidad y seguridad del ropinirol combinado con factor de crecimiento nervioso para mejorar la salud neurológica en jugadores de fútbol. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y del Deporte*, 23(91), 153-169.
- Lombarte, V. (2020). Influencia de la actividad física y práctica deportiva en el rendimiento académico del alumnado de educación secundaria. *SPORT TK-Revista EuroAmericana de Ciencias del Deporte*, 95-100.
- López-Carrillo, G. (2021). Efecto agudo del programa Knäkontroll sobre parámetros del rendimiento físico en jugadores de fútbol de categoría juvenil. *JUMP*, (4), 33-44.
- Paredes-Gómez, R. (2023). Análisis del protocolo de curl nórdico de isquiotibiales en la flexibilidad de los deportistas (Analysis of the Nordic curl protocol in the flexibility of athletes). *Retos*, 48, 720-726.
- Prieto, M. (2020). Motivación, ansiedad social, práctica de ejercicio físico y rendimiento académico. *Journal of Sport and Health Research*, 12.
- Sabarit Peñalosa, A. (2024). Funciones cognitivas y rendimiento deportivo en jóvenes futbolistas.
- Vélez, G. (2020). Incidencia de los golpes en la cabeza en la práctica del fútbol en la estructura y función del cerebro. *Ciencia y Educación*, 1(4), 37-55.



Esta obra está bajo una licencia de **Creative Commons Reconocimiento-No Comercial 4.0 Internacional**. Copyright © Ricardo José Jiménez González, Javier Stalin Marcillo Plúas, Carlos Manuel Meza Cercado y José Ruperto Cuenca Zambrano.

