

Memoria de trabajo, inhibición y flexibilidad cognitiva: modulación mediante intervenciones físicamente activantes

Working memory, inhibition and cognitive flexibility: modulation through physically activating interventions

Maximiliano Bossio¹ y Nadia Justel²

¹Universidad de Buenos Aires (UBA), Argentina.

<https://orcid.org/0000-0002-0380-3525>. E-mail: malejobossio@gmail.com.

²Universidad de Palermo (UP) y Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), Argentina. <https://orcid.org/0000-0002-0145-3357>. E-mail: nadiajustel@conicet.gov.ar.

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET), FUNINTEC y la ANPCyT (PICT 2017-0558).

Laboratorio Interdisciplinario de Neurociencia Cognitiva (LINC).

Centro de investigación en Neurociencia y Neuropsicología (CINN).

Universidad de Palermo (UP).

Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET).

Buenos Aires, Argentina.

Resumen

Hay múltiples investigaciones que hallan una relación entre las prácticas físicamente activantes y la modulación de las funciones ejecutivas. El objetivo de este trabajo fue explorar los posibles efectos del ejercicio y la actividad física sobre la memoria de trabajo, la inhibición y la flexibilidad cognitiva. Se realizó una búsqueda a través de palabras clave: actividad física o ejercicio, y funciones ejecutivas. Solo 33 artículos cumplieron los criterios. Se constituyeron tres secciones en relación con los constructos

de interés. Las investigaciones cubrieron un rango amplio de edades para las que se emplearon tratamientos focales y de largo término. La exigencia moderada fue la intervención más empleada y el postratamiento, el momento de evaluación que arrojó mejores resultados. Aquellos individuos con estilos de vida vinculados a la ejercitación mostraron mejores desempeños comportamentales. Gracias a su bajo costo y versatilidad, estas prácticas podrían considerarse una herramienta relevante para los tratamientos que buscan beneficiar o conservar la salud cognitiva de los individuos.

Palabras clave: actividad física, ejercicio, estilo de vida, modulación, funciones ejecutivas

Abstract

Physical activity (PA) involves any activation of the locomotor system that generates an energetic expense above baseline. On the other hand, physical exercise (PE) implicates a recurrent practice sustained in time to obtain benefits at an anatomical, physiological and/or emotional level. Currently, many research studies on cognitive neuroscience have focused on these practices since evidence indicates that people who exercise regularly show a more developed and/or preserved cognitive health. Furthermore, many designs also implement interventions based on PA and exercise as experimental treatments. Evidence showed a relationship between PA and PE and the modulation of several cognitive functions, including episodic memory and attention. The aim of this review was to explore a specific area of cognition, executive functions, which involves the processing of information with high cognitive demand, where the supervision and control of behavior are executed to provide an adaptive response to the requirements of the environment. While this construct integrates many sub-sets, a division into three fundamental nodes was proposed: working memory, inhibition, and cognitive flexibility. For this purpose, articles retrieved from Science Direct, PubMed, and SciELO were

used, along with secondary sources extracted from the selected articles. A search was conducted using the keywords: physical activity and/or aerobic exercise and executive functions; 33 articles met the inclusion criteria. Three sections were formed in relation to the three sub-constructs addressed. The research covered a broad age range, from children and adolescents to young and old adults. For the three executive functions nodes explored, moderate PA was the most frequently type of practice employed either had a beneficial modulator effect. Regarding working memory, in some cases exercise was also complemented with an extra cognitive load related to the exercise under evaluation (e.g., tactical game variations), showing the most favorable effects, or matching the effects of exercise alone. No long-term training was implemented. In the studies on the inhibitory capacity, the modulatory effect duration was analyzed: as the time gap between the end of treatment and time of evaluation was major, intense demand exercises became the most effective condition. The characteristics of the individual were emphasized: the subjects with the best aerobic capacity showed the best behavioral performances. Respect to flexibility, in some cases PA with higher cognitive load achieved better results, while others found no differences. Finally, both the participant's sport experience and their aerobic capacity were a relevant factor: the more developed levels of aerobic capacity or experience in sports that had varying contexts (e.g., ball games) were associated with better behavioral performance. PA and PE include versatile, low-cost, easy-to-implement interventions with minimal or no adverse effects. Adapted to the needs and capacities of each person, they are useful tools in the development of strategies that pursue the goal of enhance and/or conserve the cognitive function of different populations. For this reason, future research could further explore the phenomena involved in modulation, both of executive functions and of other areas of cognition, through physically activating interventions.

Keywords: physical activity, exercise, lifestyle, modulation, executive functions

Introducción

Las prácticas físicamente activantes implican a toda puesta en marcha del sistema locomotor que genere un gasto energético por encima del basal (Garber et al., 2011). Cuando estas conductas se sostienen en el tiempo, se repiten con cierta periodicidad y tienen por fin la mejora o conservación de variables fisiológicas, anatómicas o emocionales en los individuos, se hará referencia al término ejercicio físico (Jiang et al., 2009). En la mayoría de los casos, la práctica asidua produce una mejora en la aptitud física o capacidad aeróbica del individuo, representada por la capacidad del organismo para dar una respuesta adaptativa rápida y sin fatiga ante las exigencias del ambiente (Garber et al., 2011).

Actualmente, la actividad y el ejercicio físico han suscitado el interés desde la investigación neurocientífica (Kao et al., 2021; Sinclair et al., 2021). Diferentes estudios emplean prácticas físicas como tratamiento agudo, antes o durante la evaluación comportamental. Estos entrenamientos, que implican una única exposición con parámetros de esfuerzo y duración preestablecidos, logran modular diferentes aspectos de la cognición (Chen et al., 2014; Hwang et al., 2016). Por otro lado, hay investigaciones que adoptan programas de entrenamiento de largo término (≥ 4 semanas), en los que el ejercicio modula favorablemente el desempeño cognitivo, tanto en medidas intragrupo pre y postratamiento (Coetsee y Terblanche, 2017) como intergrupo, respecto a tratamientos controles activos (Albinet et al., 2016), y pasivos (Predovan et al., 2012). Por último, existen trabajos que exploran cómo una aptitud física más desarrollada, producto de la ejercitación habitual como estilo de vida, se vincula con desempeños salientes en evaluaciones cognitivas (Bianco et al., 2017; Hayes et al., 2014). Este efecto favorable se presenta tanto en niños (Chen et al., 2014)

y adolescentes (Browne et al., 2016) como en adultos jóvenes (AJ) y adultos mayores (AM) de 60 años (Hogan, Mata et al., 2013), y abarcan un amplio rango de funciones cognitivas. Dentro del marco del presente trabajo, el relevamiento se centrará en el efecto que estos tratamientos poseen sobre las funciones ejecutivas (FFEE) (Basso et al., 2015; Jonasson et al., 2017; Stern et al., 2019).

Las FFEE se definen como el conjunto de procesos cognitivos implicados en la resolución de situaciones novedosas que permiten la adaptación a entornos cambiantes (Collette et al., 2006; Tirapu-Ustárrroz et al., 2018). Si bien abarcan un amplio número de subconstructos, es posible mencionar tres componentes principales: la memoria de trabajo –que refiere a la capacidad de codificar, manipular y actualizar la información del medio interno o externo a fin de cumplir un objetivo–; la flexibilidad cognitiva –que corresponde a la habilidad de modificar o alternar un plan de acción mental frente a alteraciones en la demanda de las tareas–, y la inhibición cognitiva, que implica poder suprimir de manera deliberada una respuesta preponderante o automática cuando fuese necesario (Miyake et al., 2000).

Debido a la importancia que las FFEE tienen sobre el desempeño en la vida diaria de los individuos (Vaughan y Giovanello, 2010), es de vital importancia comprender qué mecanismos neurológicos y cognitivos involucran y, de ser posible, llevar adelante estrategias que contribuyan tanto a la salud como al desarrollo de estas. En este sentido, se vio que el aprendizaje musical puede estimular y favorecer el desarrollo de los procesos neuronales subyacentes al funcionamiento ejecutivo (Hernández-Campos et al., 2020). La práctica deportiva y la ejercitación regular constituye una intervención ambiental similar a la música: no producen efectos adversos, son versátiles en su implementación, de fácil administración y adaptables a las capacidades y necesidades de cada persona.

En base a estas consideraciones, la presente revisión hará un relevamiento sobre aquellos trabajos que estudien una vinculación causal o relacional entre diferentes prácticas físicamente activantes y la modulación de los tres dominios que componen las funciones ejecutivas.

Método

Muestra

Se seleccionaron 33 artículos empíricos, luego de una búsqueda bibliográfica en bases de datos científicas indexadas. Los criterios de inclusión involucraron estudios empíricos que: a) abordaran a la actividad física y deportiva desde un enfoque neurocognitivo o neuropsicológico; b) utilizaran muestras sin patología; c) incluyeran variaciones metodológicas en la forma y tipo de aplicación de la actividad física y deportiva, y d) contuvieran las palabras clave relevantes.

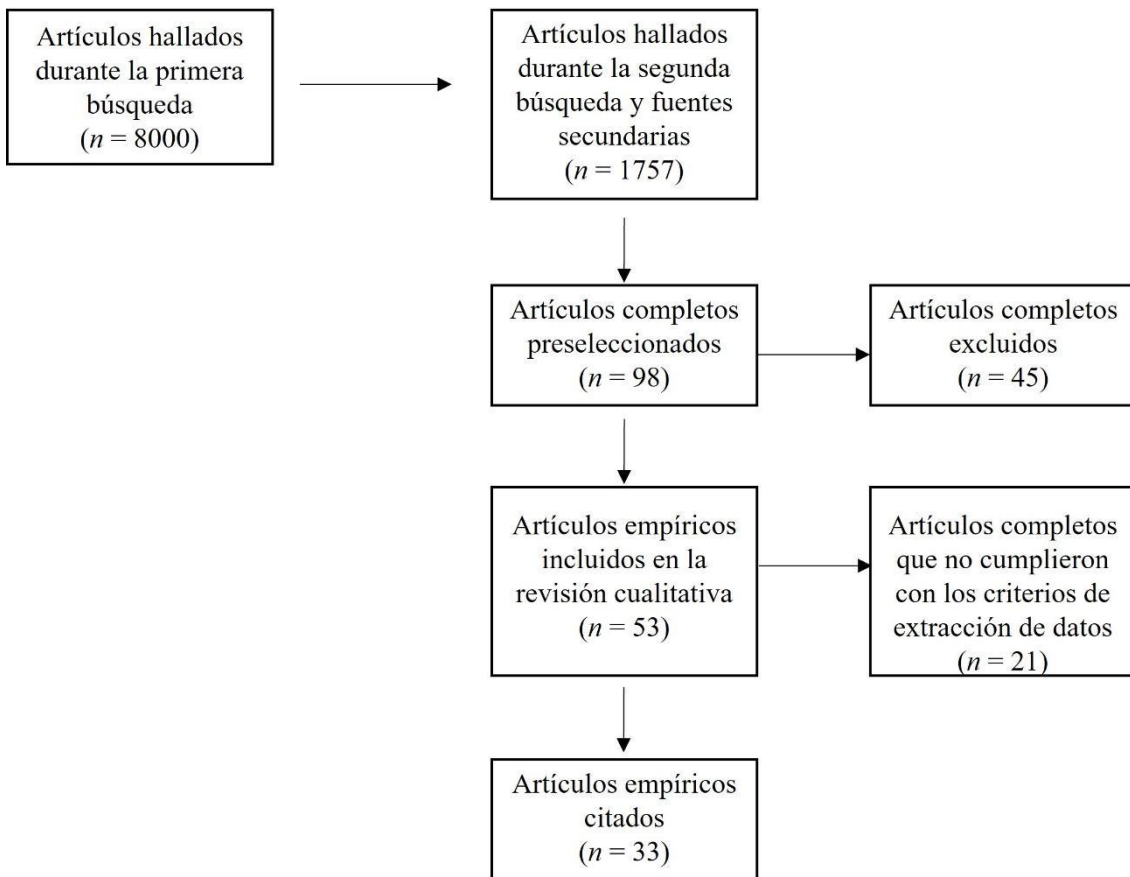
Procedimiento

Se utilizaron artículos recuperados de Science Direct, PubMed, y SciELO, junto a fuentes secundarias extraídas de los artículos seleccionados. Se realizó una búsqueda con las palabras clave: *physical activity*, AND/OR *aerobic exercise* AND *cognitive functions*. Se obtuvieron aproximadamente 8000 resultados. El término funciones cognitivas resultaba amplio e inespecífico, por lo que se abordó una segunda búsqueda con las palabras clave: *physical activity* AND/OR *aerobic exercise*, AND *executive functions*, y se encontraron 1757 artículos. Luego se preseleccionaron 98 trabajos en base al cumplimiento de los criterios de inclusión, de los cuales 53 fuentes bibliográficas poseían una fecha de publicación dentro del período comprendido entre el 1º de abril del 2012 y el 1º de abril de 2022, que reportaron el uso de instrumentos para la medición de las funciones de inhibición, memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva. De estos 53 artículos se tuvo en cuenta: a) el tipo de muestra; b) la función ejecutiva

evaluada; c) la coherencia en sus métodos de evaluación y diseño experimental, y d) los tiempos de reacción, precisión de respuesta y cantidad de errores. Los desacuerdos entre los revisores fueron resueltos a través del consenso. Un total de 33 artículos empíricos cumplieron con estos criterios finales y fueron interpretados independientemente por los autores de este trabajo a través de un análisis cualitativo-descriptivo. En la Figura 1 se observa el diagrama de flujo de la selección de los artículos.

Figura 1.

Flujo de selección de los artículos. Fuente: elaboración propia



Resultados

La Tabla 1 presenta los principales resultados. Los 33 artículos empíricos incluidos para la síntesis cualitativa se dividieron en: 1) memoria de trabajo; 2) inhibición, y 3) flexibilidad cognitiva. En cada apartado se encuentran diferentes poblaciones: a) niños de 6 a 12 años ($n = 8$); b) adolescentes de 13 a 18 años ($n = 5$); c) adultos jóvenes de 18

a 60 años ($n = 14$), y d) adultos mayores (> 60 años; $n = 4$). Dos artículos realizan comparaciones entre poblaciones (Hayes et al., 2014; Hogan, Mata et al., 2013).

Tabla 1.

Síntesis de resultados principales

Autores	Muestra	Tarea	Intervención	Modalidad	Duración (minutos)	Resultados	<i>p</i> valor
Memoria de trabajo							
Chen et al. (2014)	Niños	<i>n</i> -back	Ejercicio aeróbico moderado (EAM); control sin ejercicio (CSE)	Agudo	30	Mejor desempeño post ejercicio aeróbico (EA)	< .05
Chen et al. (2016)	Niños	<i>n</i> -back	EAM; CSE	Agudo	30	Mejor desempeño post EA	< .05
Drollette et al. (2012)	Niños	<i>n</i> -back	EAM	Agudo	≈ 20	Mejor desempeño sólo en sujetos con bajo rendimiento en línea de base	> .15
Hayes et al. (2014)	AJ y AM (con diferente nivel aeróbico)	Aritmética; Dígitos inverso	Sin tratamiento (ST)	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño para AJ y AM con mayor nivel aeróbico	< .005
Hogan, Mata et al. (2013)	AJ, Adulto de mediana; AM	<i>n</i> -back	EAM; CSE	Agudo	15	Mejor desempeño post EA para los 3 grupos.	= .014
Ishihara et al. (2016)	Niños	<i>n</i> -back	Tenis con ejercicios repetitivos; tenis con ejercicios variables	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño ejercicios variables	< .01
Ishihara et al. (2017)	Niños	<i>n</i> -back	Tenis con ejercicios repetitivos; Tenis con ejercicios variables; control sin ejercicio	Agudo	50	Mejor desempeño post ejercicios; destacan los ejercicios variables	< .04
Jäger et al. (2015)	Niños (diferente capacidad aeróbica)	<i>n</i> -back	EA + carga cognitiva; EA sin carga cognitiva; tarea cognitiva sin EA; CSE	Agudo	≈ 20	Mejor desempeño post EA en sujetos con capacidad aeróbica alta	< .01

Kao et al. (2021)	AJ	Tarea de Sternberg	Ejercicio de alta intensidad por intervalos (EAII); EAM; CSE	Agudo	≈ 16	Mejor desempeño post EAII	= .011
Scott et al. (2016)	AJ (mujeres con diferente capacidad aeróbica)	Test de Memoria de Trabajo de Sternberg	ST	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño en aquellas con alta capacidad aeróbica	= .021
Zach y Shalom (2016)	AJ (jugadores de vóleybol)	Dígitos; prueba de “canto, puño, palma”	EA moderado; ejercicio de fuerza; ejercicios tácticos de vóleybol	Agudo	≈ 15	Mejor desempeño luego de ejercicios basados en tácticas de juego	< .05
Inhibición							
Albinet et al. (2016)	AM	Stroop	EAM; entrenamientos en estiramiento y balance	Larga duración	Dos sesiones semanales, 60 minutos, 20 semanas	Mejor desempeño para el grupo de EA	< .05
Bianco et al. (2017)	AJ (atletas y no atletas) AJ (baterista y músico no baterista)	Go/No-Go	ST	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño para atletas y músicos bateristas	< .001
Browne et al. (2016)	Adolescentes	Stroop	EA intenso; CSE	Agudo	30	Mejor desempeño post EA	< .001
Chang et al. (2014)	AJ (con diferente capacidad aeróbica)	Stroop	EAM	Agudo	20	Mejor desempeño post EA en todos los grupos. Destacan la capacidad aeróbica baja y media	< .02
Coetsee y Terblanche (2017)	AM	Stroop	EAII; EAM; ejercicio de fuerza; CSE	Larga duración	Tres sesiones semanales, 30 – 47 minutos, 20 semanas	Mejor desempeño post EA moderado y ejercicio de fuerza	< .05
Hogan, Kiefer et al. (2013)	Adolescentes (con diferente capacidad aeróbica)	Go/No-Go; tarea de flancos	EAM; CSE	Agudo	20	Mejor desempeño post EA en sujetos con alta capacidad aeróbica	= .05

Ishihara et al. (2016)	Niños	Stroop	ST	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño con ejercicios en constante variación	= .04
Jäger et al. (2014)	Niños	Tarea de flancos	EAM combinado con tareas de demanda cognitiva creciente; CSE	Agudo	20	Mejor desempeño post EA	= .02
Labelle et al. (2013)	AJ (con diferente capacidad aeróbica)	Stroop	EAM a intenso	Agudo	≈ 20	Peores desempeños a medida que aumentaba la intensidad	< .01
Lee et al. (2014)	Adolescentes (con y sin hábitos de ejercicio)	Stroop	ST	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño para aquellos con registros de actividad física habitual	= .038
Netz et al. (2016)	AJ	Go/No-Go	EAM; CSE	Agudo	25	Mejor desempeño post EA	< .05
Soga et al. (2015)	Adolescentes	Tarea de flancos	EAM	Agudo	≈ 15	Mejor desempeño post EA respecto durante EA	= .01
Tsukamoto et al. (2016 a)	AJ	Stroop	EAM; EAI	Agudo	33 – 40	Mejor desempeño post EAM. Efecto residual prolongado luego del EAI	< .05
Tsukamoto et al. (2016 b)	AJ	Stroop	EAI	Agudo	33	Mejor desempeño post EAI	< .01
Wenggaard et al. (2017)	Adolescentes (con diferente capacidad aeróbica)	Paradigma de clave de Posner	ST	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño en sujetos alta capacidad aeróbica	< .05
Flexibilidad Cognitiva							
Hwang et al. (2016)	AJ	Test del trazo	EA intenso; CSE	Agudo	10	Mejor desempeño post EA	< .05
Ishihara et al. (2017)	Niños	Prueba de figura de Navon	Tenis con ejercicios repetitivos; Tennis con ejercicios variables; control sin ejercicio	Agudo	50	Mejor desempeño post ejercicios variables	< .01

Stern et al. (2019)	AJ y AM	Atención alternante	EAM; Ejercicio de tonificación y estiramiento	Larga duración	Cuatro sesiones semanales, 30 – 40 minutos, 24 semanas	Mejor desempeño post EAM	= .038
Kimura y Hozumi (2012)	AM	Respuesta en tarea alternante	EA leve a moderada con movimientos repetitivos vs variantes	Agudo	20	Mejore desempeño post EA con movimientos variantes	= .009
Predovan et al. (2012)	AM	Stroop modificado	EAM; ST	Larga duración	Tres sesiones semanales, 60 minutos, 12 semanas	Mejor desempeño post EA	< .03
Schmidt et al. (2015)	Niños	Tarea de flancos modificada	EA alta demanda cognitiva y física; EA alta demanda física; ST	Crónico	Dos sesiones semanales, 45 minutos, seis semanas	Mejor desempeño post EA alta demanda cognitiva y física	< .04
Tsai et al. (2016)	AJ (con diferente capacidad aeróbica)	Respuesta alternante al estímulo	EAM; CSE	Agudo	30	Mejor desempeño post EA. Mejores resultados a mayor capacidad aeróbica	< .05
Venckunas et al. (2016)	AJ	Tarea de cambio predecible e impredecible	EA intenso; ST	Largo duración	Tres sesiones semanales, 42 – 90 (progresivo); siete semanas	Mejor desempeño post EA.	< .05
Yu et al. (2017)	AJ (expertos en juegos en equipo); AJ (expertos en juegos individuales); AJ (sin experiencia)	Cambio de tarea	ST	Registro estilo de vida	-	Mejor desempeño para ambos grupos de expertos. Destacan los expertos en juegos de equipo	< .05

Memoria de trabajo

En uno de los trabajos, los AJ atravesaban tres condiciones experimentales aleatorizadas en días separados: EAI –ejercicio de alta intensidad por intervalos–; ejercicio moderado y continuo, y por último, el descanso (control). Luego de cada tratamiento fueron evaluados con una versión modificada de la tarea de Sternberg, en la que se debe codificar, sostener y reconocer estímulos blancos frente a un grupo de estímulos distractores. Los resultados mostraron que el ejercicio por intervalos generaba tiempos de respuesta más rápidos respecto a la condición control (Kao et al., 2021).

Dos estudios trabajaron con niños con actividad aeróbica moderada o descanso sin ejercicio (control), previo y posterior, para lo cual realizaban la tarea de *n-back*, en el que debían codificar un estímulo, compararlo con uno nuevo y determinar si se trataba del mismo estímulo. Así, se observó que luego del ejercicio, los tiempos de respuesta eran más rápidos (Chen et al., 2014; 2016). Resultados similares, en los que los desempeños mejoran posteriormente a los tratamientos, fueron hallados por Hogan, Mata et al. (2013) en una población de AJ y AM, mientras que Drollette et al. (2012) no encontraron diferencias al trabajar con niños con un diseño similar.

Zach y Shalom (2016) llevaron a cabo un estudio con AJ, a través de tres tratamientos agudos: ejercicio aeróbico moderado (correr), ejercicio de fuerza, o ejercicios tácticos en voleibol. Se evaluó a los sujetos pre y posintervenciones con el subtest de secuencia de dígitos directo y memoria visual de Wechsler (1997) y se observaron mejoras en los desempeños solo para quienes realizaron las tácticas de voleibol. Así, la demanda cognitiva de la tarea jugaría un rol relevante respecto a la modulación del ejercicio. Por otro lado, este trabajo no tuvo en cuenta la capacidad de respuesta física de cada sujeto, aun cuando esta una variable tiene la capacidad de afectar los desempeños comportamentales.

Un estudio trabajó con niños que practicaban tenis e invertían mayor cantidad de tiempo en ejercicios esquemáticos/repetitivos, o bien en tareas de coordinación dinámica propias a un partido. Se encontró que este último grupo lograba los mejores desempeños en la tarea *n-back* (Ishihara et al., 2016). Los mismos resultados se obtuvieron cuando los entrenamientos diferenciales se aplicaron a modo de intervención aguda: cada grupo de niños realizó una sesión de ejercicio similar a las realizadas en un día normal de sus entrenamientos. La comparación de evaluaciones pre y posintervenciones mostraron un desempeño saliente luego de realizar ejercicios de coordinación dinámica (Ishihara et al., 2017).

Jäger et al. (2015) trabajaron con niños y evaluaron la posible relación entre capacidad aeróbica individual, desempeño cognitivo y efecto por ejercicio. Utilizaron la prueba *n-back* antes e inmediatamente después de los tratamientos: actividad física moderada con compromiso cognitivo (ejercicio competitivo reglado); correr a intensidad moderada; tarea de compromiso cognitivo sin ejercicio (jugar cartas); control sin demanda física ni cognitiva (oír un cuento). En la línea de base, aquellos con mayor nivel aeróbico tuvieron mejores resultados en la tarea *n-back*. Conjuntamente, estos sujetos mejoraron su desempeño luego de las intervenciones y solo fueron efectivas aquellas que implicaban una demanda física.

Estas diferencias por capacidad cardiorrespiratoria fueron encontradas también en AJ y AM, quienes fueron evaluados con los subtest de aritmética y dígitos inversos del WAIS-III. Se halló que los AM de alto rendimiento aeróbico se desempeñaban tan bien como los AJ y ambos lo hacían significativamente mejor que los AM de nivel aeróbico bajo (Hayes et al., 2014). Resultados similares fueron obtenidos por Scott et al. (2016) al emplear la tarea *n-back*.

Al pensar en tratamientos capaces de modular la memoria de trabajo, se debe tener en cuenta la activación fisiológica desencadenada en la exigencia física, pero también el papel desempeñado por la demanda cognitiva de la tarea. Además, los trabajos mencionados emplearon actividad física moderada en sus tratamientos, de tal forma que otros niveles de exigencia podrían ser explorados en futuras investigaciones.

Inhibición

Un grupo de investigación trabajó con AJ para estudiar el efecto del nivel de exigencia física sobre el control inhibitorio. Para ello, los sujetos atravesaban dos condiciones en días separados: ejercicio moderado y EAI. Para la evaluación cognitiva, emplearon la prueba de Stroop (Stroop, 1935) antes, inmediatamente después y luego de 10, 20 y 30 minutos de finalizar los entrenamientos. Ambos tratamientos dieron como resultado tiempos de respuesta más rápidos. Pasados los 30 minutos, solo el entrenamiento variable mantenía su efecto modulador favorable (Tsukamoto et al., 2016a). En otro estudio de los autores, cada sujeto (AJ) atravesaba dos sesiones de EAI, separadas por 60 minutos de descanso. Las evaluaciones con la prueba de Stroop se efectuaban antes del primer ejercicio, luego de él (durante el primer descanso) y, una vez finalizada la segunda exposición, durante el segundo descanso. Se observó que, respecto a las medidas preintervención, los tiempos de respuesta eran más rápidos luego de ambas sesiones. Sin embargo, los desempeños posteriores a la primera sesión fueron mejores que los vistos luego de la segunda, lo que denotó un posible efecto de fatiga (Tsukamoto et al., 2016b).

Otro estudio trabajó con AJ quienes tuvieron que realizar caminatas aeróbicas o control sin actividad. Se evaluó el desempeño antes, justo después y luego de 30 minutos de finalizar los tratamientos, mediante la prueba *Go-NoGo*, en la que se debe responder rápida y precisamente cuando un estímulo cumple cierta condición y evitar la respuesta

en caso contrario. Si bien las caminatas generaron una mejora significativa en el desempeño, la modulación solo se presentó en las medidas inmediatamente posteriores al ejercicio. Esto es así, pues transcurridos 30 minutos, los resultados fueron mejores luego de atravesar la condición control (Netz et al., 2016).

En Labelle et al. (2013) investigaron el efecto del ejercicio en forma superpuesta a la evaluación cognitiva. Así, los AJ con diferentes capacidades cardiorrespiratorias, pedalearon a intensidad creciente mientras realizaban el Stroop. Si bien los desempeños empeoraban a medida que aumentaba la intensidad del ejercicio, los sujetos con mayor nivel aeróbico obtenían mejores resultados que sus compañeros de nivel más bajo.

Un trabajo con adolescentes dividió a los participantes según su nivel aeróbico: alto o bajo. Se realizó un diseño intragrupo en el que los sujetos atravesaban ambas condiciones: ejercicio moderado en bicicleta o mirar una película (control). Al finalizar, evaluaron cada actividad mediante una tarea que combinaba la prueba *Go-NoGo* y la prueba de flancos de Eriksen (Eriksen y Eriksen, 1974) y observaron una modulación favorable gracias al ejercicio, solo para aquellos con nivel aeróbico alto (Hogan, Kiefer et al., 2013). Resultados similares fueron hallados al utilizar la prueba clave/objetivo de Posner (Posner, 1980) en adolescentes (Wenggaard et al., 2017), mientras que en Chang et al. (2014), la evaluación de AJ mediante el Stroop mostró mejoras para todos los grupos, por lo que los sujetos de nivel aeróbico bajo y medio mostraban mejoras salientes respecto al grupo de nivel alto.

Soga et al. (2015) trabajaron con adolescentes, al estudiar el posible efecto de correr cuando las evaluaciones se hacían antes, durante y posteriormente al ejercicio. Al evaluar con la tarea de flancos, se vio que los tiempos de respuesta luego del ejercicio eran significativamente más rápidos que los hallados antes o durante la actividad.

Resultados similares fueron hallados al emplear esta tarea con niños (Jäger et al., 2014),

así como en adolescentes al usar el Stroop (Browne et al., 2016). Esto demostraría que tanto el momento en que ocurre el entrenamiento como el punto temporal en que se efectúan las evaluaciones son factores de suma relevancia a la hora de entender los resultados hallados.

Otro estudio comparó el desempeño de AJ atletas y no atletas en la tarea *Go/No-Go*, y descubrieron que los primeros obtenían los tiempos de respuesta más rápidos (Bianco et al., 2017). Resultados similares se observaron en población adolescente al emplear el Stroop, en el que los participantes mayormente comprometidos con la actividad física obtenían mejores resultados que aquellos menos comprometidos (Lee et al., 2014). Además, al utilizar esta misma evaluación en un trabajo con niños habituados a la práctica de tenis, pero que poseían entrenamientos cualitativamente diferentes, se observó que quienes destinaban más tiempo a un juego dinámico y cambiante –para los que incorporaron aún más recursos cognitivos– obtenían tiempos de respuesta más rápidos en la prueba (Ishihara et al., 2016).

En AM, un trabajo implementó un entrenamiento de largo término basado en EAI con intervalos alternantes de alta y moderada intensidad; ejercicios aeróbicos moderados y continuos; ejercicios con levantamiento de peso o grupo control inactivo. Utilizaron la prueba Stroop antes y después de las intervenciones y encontraron que, finalizados los entrenamientos, el grupo de ejercicio moderado y de levantamiento de peso mostró tiempos de repuesta más veloces en las fases inhibitorias (Coetsee y Terblanche, 2017). Resultados similares fueron hallados al emplear un entrenamiento moderado en piscina (Albinet et al., 2016). En estos trabajos, los entrenamientos de alta exigencia no resultaron efectivos en la modulación de las variables estudiadas. Esto puede deberse a que los beneficios de tales intervenciones podrían asociarse al tipo de población blanco

(AJ) o bien a su implementación mediante exposiciones agudas. Futuros trabajos deberán profundizar el estudio de estos hallazgos contradictorios.

Si bien la inhibición se ve influida por las prácticas deportivas y, especialmente por la actividad aeróbica, los resultados no son homogéneos. Esto puede deberse a que hay multiplicidad de variables puestas en juego en estos estudios: el tipo de ejercicio, su nivel de exigencia, su modalidad (aguda o crónica), su demanda cognitiva, el momento de evaluación, así como las características del sujeto.

Flexibilidad cognitiva

Una investigación trabajó con adolescentes en dos condiciones experimentales de largo término: correr a velocidad alta o ser grupo control inactivo. Para la evaluación (antes y después de completar el entrenamiento) utilizaron la prueba par/impar y la prueba de Schulte–Gorbov; en ambas se debía dar respuestas cambiantes según las cualidades del estímulo visto. Durante esa investigación se hallaron mejoras significativas en los desempeños luego del ejercicio en comparación con el grupo control (Venckunas et al., 2016).

Un estudio trabajó con AJ y tuvo en cuenta el tipo de ejercicio que realizaban como parte de su rutina de vida. Así, se los dividió en atletas de habilidades abiertas, a quienes practican deportes cuyo contexto cambia continuamente y exige sucesivas respuestas adaptativas (deportes con pelota); atletas con habilidades cerradas, que durante períodos largos asumen movimientos estereotipados y repetitivos, sin necesidad de variar su estrategia (triatletas), y sujetos sin experiencia. Para la evaluación emplearon el paradigma de cambio de tarea de Hsieh y Liu (2005) que presenta una clave anticipatoria con valor predictivo variante y, a continuación, un estímulo blanco al que debía responderse. Encontraron que cuando la clave era 100 % predictiva, los expertos en habilidades abiertas respondían significativamente más rápido que los otros dos

grupos. Por el contrario, cuando la clave era azarosa, ambos grupos de expertos eran significativamente más rápidos que los inexpertos (Yu et al., 2017). Los deportistas de habilidades abiertas están adecuados a contextos cambiantes en los que el éxito depende, en muchos casos, de poder anticipar los movimientos del rival. Esto podría explicar su desempeño saliente cuando la clave era 100 % predictiva. Por otro lado, el hecho de que ambos grupos fueran mejores que el grupo control podría deberse a los beneficios cognitivos de la ejercitación regular.

Ishihara et al. (2017) trabajaron con niños habituados a entrenamientos de tenis esquemáticos y repetitivos, o variantes y dinámicos que, a modo de tratamiento, realizaban una única sesión de ejercicio según el tipo de entrenamiento al que estuvieran acostumbrados o miraban una animación (control). Previo y posterior a las intervenciones evaluaron la flexibilidad cognitiva usando la figura de Navon (Navon, 1977) y observaron que ambos grupos de ejercicio mejoraban sus desempeños luego del ejercicio, por lo que el grupo de entrenamiento variante fue el más beneficiado.

Resultados similares fueron hallados con AM, por cuanto los sujetos atravesaban alternadamente dos tratamientos aeróbicos: bailes con movimientos repetitivos y esquemáticos, o bailes con secuencias cambiantes. También se hizo una evaluación mediante un paradigma de cambio de tarea y observaron mejores desempeños solo al culminar los bailes con secuencias cambiantes (Kimura y Hozumi, 2012). En ambos trabajos el componente cognitivo de la tarea afectó al desempeño alcanzado.

Otro estudio dividió a preadolescentes en tres grupos de entrenamiento a largo término: alta demanda cognitiva y física (básquet y *floorball*); baja demanda cognitiva y alta demanda física (ejercicios aeróbicos), y los de condición control sin actividad. Se los evaluó antes y después del entrenamiento al utilizar la tarea de flancos, y se observaron mejorías solo para el grupo con alta demanda cognitiva y física (Schmidt et al., 2015).

Stern et al. (2019) trabajaron con AJ y AM a través de un programa de larga duración, en el que los sujetos realizaban entrenamiento aeróbico o ejercicios de tonificación y estiramiento. Antes y después del programa, evaluaron su memoria, el lenguaje, la atención y el funcionamiento ejecutivo mediante una batería de pruebas estandarizadas. Al comparar los resultados de la línea de base con aquellos postratamientos, se halló que el grupo de ejercicio mejoró su desempeño en las medidas de flexibilidad cognitiva. Adicionalmente, las variaciones en la adherencia al tratamiento entre sujetos provocaron la aparición de subgrupos con diferente volumen de ejercicio realizado: a mayor nivel de entrenamiento, mejores eran los desempeños. Resultados similares fueron hallados en AM evaluados con una versión modificada del Stroop (Predovan et al., 2012). Un estudio contó con AJ como participantes que realizaban ejercicio aeróbico o permanecían inactivos (control) y, a su vez, quienes se ejercitaron fueron divididos previamente según tuvieran alto o bajo nivel aeróbico. Las evaluaciones se realizaron pre y postratamientos, con el protocolo de cambio de tarea de Kamijo y Takeda (2010), por el que los sujetos alternaban su respuesta, según el tipo de estímulo visto. Así, con respecto al control, hallaron que todos los participantes del grupo activo obtenían tiempos de reacción más rápidos luego del ejercicio, pero solo los sujetos de alta capacidad aeróbica mostraban una mejora por tratamiento en la precisión de respuesta (Tsai et al., 2016). En este trabajo, a diferencia de lo ya visto, el nivel aeróbico no afectó a la totalidad de variables estudiadas.

Finalmente, Hwang et al. (2016) trabajaron con AJ que corrían con una exigencia intensa o permanecían en reposo (control). Para la evaluación, se empleó la prueba del trazo, en la que se debe alternar el tipo de respuesta al seguir reglas cambiantes, y comprobaron que, al comparar las medidas pre y post intervención, los tiempos de

resolución eran más rápidos luego del ejercicio. La condición control no mostró cambios.

En lo que respecta a la flexibilidad cognitiva, adquieren gran relevancia las actividades que exigen cambios frecuentes, sean en forma aguda, a largo término o como parte del estilo de vida de la persona.

Discusión

Esta revisión centró su atención en los tres núcleos elementales de las funciones ejecutivas: memoria de trabajo, inhibición, flexibilidad cognitiva (Miyake et al., 2000), ya que se ven ampliamente beneficiados por la ejercitación (Basso et al., 2015; Jonasson et al., 2017; Stern et al., 2019). Sin embargo, las intervenciones basadas en actividades físicas implican actos complejos con múltiples factores que afectan la modulación comportamental resultante: el tipo de ejercicio, el nivel de exigencia, la población objetivo, el método de evaluación, la duración del tratamiento y las características individuales. En este sentido, y a diferencia de otros relevamientos bibliográficos, este trabajo recopiló artículos basados en diseños diversos, que brindaron un acercamiento general a los diferentes tipos de investigación existentes en esta área. En ciertos casos, los tratamientos buscaban únicamente la activación fisiológica en respuesta a la exigencia (Coetsee y Terblanche, 2017; Chang et al., 2014) o bien adicionar reglas y estrategias de juego, para lograr así una carga cognitiva adicional al ejercicio. Esta última categoría mostró ser efectiva tanto en entrenamientos de largo término (Schmidt et al., 2015) como en dosis agudas (Ishihara et al., 2017). Además, las diferencias individuales, como la capacidad cardiorrespiratoria (Scott et al., 2016) y la experiencia deportiva (Yu et al., 2017) del sujeto, se relacionaron con los desempeños encontrados. Con respecto a la memoria de trabajo, se hallaron resultados favorables en niños y adultos, con quienes se empleó mayormente tratamientos de intensidad moderada (Chen

et al., 2014; Hogan, Mata et al., 2013). En ciertos casos, el ejercicio se complementaba con una carga cognitiva adicional y mostraban los efectos más favorables (Ishihara et al., 2017) o igualaban los efectos del ejercicio por sí solo (Jäger et al., 2015). Hubo solo un artículo que no halló diferencias significativas (Drollete et al., 2012) y es el único trabajo con niños en el que las intervenciones no tenían un enfoque social, pues a diferencia del resto de los artículos, los sujetos se ejercitaban en una cinta de correr, sin realizar actividades físicas cooperativas o competitivas. Esto permite pensar en las características cualitativas del ejercicio como un factor de suma relevancia a la hora de interpretar los resultados asociados a intervenciones basadas en actividad física. Además, cabe destacar que prácticamente todas las evaluaciones se basaron en la tarea *n-back*, por lo que se echa en falta la exploración del constructo a través de otras herramientas. Asimismo, no se implementaron diseños con entrenamientos de largo término, por lo que este es un vacío que podría explorarse en futuras investigaciones. La modulación de la función inhibitoria arrojó resultados concluyentes para todos los grupos etarios explorados, en los que se emplearon niveles de exigencia moderado (Chang et al., 2014; Hogan, Kiefer et al., 2013; Netz et al., 2016) e intenso (Browne et al., 2016). Las evaluaciones se efectuaban antes o después del ejercicio. Además, ciertos experimentos estudiaron la duración del efecto modulador, una vez finalizados los tratamientos (Netz et al., 2016; Tsukamoto et al., 2016a). En estos estudios, tanto el EAM –ejercicio aeróbico moderado– como el EAI mejoraban el desempeño inhibitorio cuando la evaluación cognitiva se efectuaba inmediatamente después del tratamiento; sin embargo, transcurridos 30 minutos, solo los intervalos de alta intensidad mostraron ser efectivos en la modulación. Estos resultados podrían explicarse desde el nivel fisiológico, en base a los efectos generados por cada tipo de ejercicio: a diferencia del EAM, durante el EAI se produce una gran liberación de lactato en sangre. El

metabolismo de este compuesto en el cerebro podría estar asociado a los cambios favorables observados, incluso 30 minutos después de finalizar el ejercicio (Netz et al., 2016). En base a estos resultados se destaca no solo la importancia del momento de la evaluación, sino el nivel de exigencia de la actividad.

Se enfatizaron las características propias a la población estudiada, y fue la capacidad aeróbica de los sujetos la que cobró un papel de relevancia. Si bien el estudio correlacional de Wengard et al. (2017) encontró que los mejores desempeños se relacionaban en forma directa con el nivel de respuesta aeróbica, los trabajos que emplearon actividad física como tratamiento modulador, mostraron resultados dispares: mientras en Chang et al. (2014) todos los individuos mejoraban su desempeño gracias al ejercicio, en Hogan, Kiefer et al. (2013), solo aquellos en mejor condición física lograban beneficiarse por los tratamientos. Tales divergencias podrían deberse a los diseños empleados, ya que Chang et al. (2014) no contaron con un grupo control inactivo, mientras que Hogan, Kiefer et al. (2013) sí lo hicieron, además de observar que los sujetos con bajo nivel cardiorrespiratorio empeoraban sus desempeños luego de atravesar la condición control inactiva. Resultados similares se vieron en Netz et al. (2016), de tal forma que podría existir un efecto de relajación inducido por el descanso empleado en las condiciones control que, consecuentemente, afectaría negativamente los desempeños. Adicionalmente, pocos estudios emplearon tratamientos de larga duración y sería un factor para considerar en futuros trabajos que busquen ahondar en los posibles efectos causales de los entrenamientos cuando se los sostiene a lo largo del tiempo.

Por último, la flexibilidad cognitiva fue modulada favorablemente en todas las poblaciones trabajadas. Se exploraron en mayor medida los efectos generados por entrenamientos con carga cognitiva adicional que dieron resultados controversiales.

Mientras algunos estudios situaron este factor como determinante (Kimura y Hozumi, 2012; Schmidt et al., 2015), en otros no se hallaron diferencias significativas respecto a un entrenamiento cognitivamente menos demandante (Ishihara et al., 2017). En estos trabajos se hizo hincapié en las características propias a la tarea -por ejemplo, reglas y objetivos- y, en menor medida, a los efectos fisiológicos del ejercicio. De esta forma, una posible explicación a la disparidad de resultados puede hallarse en la dinámica de trabajo adoptada: Kimura y Hozumi, (2012) y Schmidt et al. (2015) implementaron actividades que implicaban la coordinación activa con pares, en tanto Ishihara et al. (2017) habían empleado entrenamientos en los cuales la interacción con otros era acotada. Estas diferencias basadas en las características del entrenamiento pueden verse también en Yu et al. (2017) que, focalizados en la experiencia deportiva de los participantes, hallaron que los sujetos habituados a responder adaptativamente frente a escenarios cambiantes, presentaron mejores desempeños en tareas en las que el éxito dependía de procesar información en forma rápida y precisa. En base a esto, los resultados podrían explicarse desde una modulación favorable lograda gracias a la demanda cognitiva de los entrenamientos dinámicos y cambiantes, o bien al hecho de compartir un contexto grupal que busca cierta coordinación con el entorno circundante. Dos trabajos emplearon ejercicios focales individualizados no reglados, con exigencia física intensa (Hwang et al., 2016) y moderada (Tsai et al., 2016). En este último estudio se halló además que el nivel cardiorrespiratorio afectaba distintamente los desempeños, de tal forma que los mejores resultados correspondían a los participantes en mejor forma física. En suma, tanto las características de la tarea (nivel de exigencia, demanda cognitiva) como los rasgos del individuo (experiencia deportiva, capacidad cardiorrespiratoria), pueden modular la respuesta comportamental expresada por los

individuos. Futuras investigaciones podrían partir de estas premisas y comparar el efecto de cada variable aislada y de la combinación de uno o más factores.

Como ya se mencionó, esta revisión realizó un relevamiento general de las investigaciones basadas en actividad física como factor modulador de las FFEE, sin hacer foco en una cualidad específica de los diseños experimentales. Esta falta de especificidad no permite una comparación exhaustiva de las metodologías de trabajo posibles de hallar en esta área de investigación. Una selección bibliográfica centrada en trabajos con una cohorte delimitada, por ejemplo, entrenamientos focales con intensidad moderada, posibilitaría un entendimiento más acabado respecto a cómo estos factores se relacionan con las variables de interés. Asimismo, debe destacarse la heterogeneidad de la distribución de rangos etarios dentro de cada subconjunto de FFEE, de tal forma que no se reportan estudios que evalúen la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva en adolescentes, mientras que los artículos que trabajan con AM representan un número considerablemente menor respecto a aquellos que con AJ y niños. Futuros trabajos que presten especial interés en dichas poblaciones permitirían comparar el efecto del ejercicio sobre el funcionamiento ejecutivo y, así, alcanzar un espectro completo de edades. Por último, se destaca que solo dos estudios realizaron comparaciones entre poblaciones (Hayes et al., 2014; Hogan, Mata et al., 2013), de tal manera que el efecto comparativo por edad no se abordó profundamente.

Ya que las FFEE están sumamente implicadas en la capacidad de los individuos para adaptarse y desempeñarse en la vida diaria, es importante generar un mayor entendimiento de los mecanismos fisiológicos y neurocognitivos que comprenden. Este trabajo brinda una mirada global sobre cómo las prácticas físicamente activantes, así como los rasgos individuales asociados a ellas, pueden modular favorablemente el desempeño ejecutivo en poblaciones desde niños hasta AM de 60 años. En base a esto,

puede pensarse en programas de entrenamiento sostenidos en el tiempo que tengan por fin retrasar el deterioro cognitivo evolutivo asociado al envejecimiento en AM (Erickson et al., 2011). Por otro lado, en el ámbito escolar se ha visto que complementar las horas convencionales de cursada con clases diseñadas para estimular el funcionamiento ejecutivo podría favorecer el rendimiento académico en niños (Bernal-Ruiz et al., 2020). Según esta línea, las escuelas podrían considerar la integración de entrenamientos físicos diseñados para generar una activación fisiológica específica que propicia la adquisición o el razonamiento con y hacia el currículo escolar.

Conclusión

La actividad física y el ejercicio constituyen un área de creciente interés para la investigación neuropsicológica. Esto se debe a que su implementación experimental, sea de corta o larga duración, genera un impacto favorable en el funcionamiento ejecutivo de un amplio rango de edades. Además, los individuos que habitualmente realizan ejercicios físicos o deportivos mostraron mejores desempeños que personas no habituadas a ellos. Adaptadas a las capacidades y necesidades de cada persona, estas prácticas pueden constituir un tratamiento no invasivo, económico, accesible a un amplio rango de edades y aplicable en, prácticamente, cualquier contexto.

Referencias

- Albinet, C. T., Abou-Dest, A., André, N. y Audiffren, M. (2016). Executive functions improvement following a 5-month aquaerobics program in older adults: Role of cardiac vagal control in inhibition performance. *Biological Psychology*, *115*, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2016.01.010>
- Basso, J. C., Shang, A., Elman, M., Karmouta, R. y Suzuki, W. A. (2015). Acute exercise improves prefrontal cortex but not hippocampal function in healthy

adults. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 21(10), 791–801. <https://doi.org/10.1017/S135561771500106X>

Bernal-Ruiz, F., Rodríguez-Vera, M. y Ortega, A. (2020). Estimulación de las funciones ejecutivas y su influencia en el rendimiento académico en escolares de primero básico. *Interdisciplinaria*, 37(1), 99-112.
<https://doi.org/10.16888/interd.2020.37.1.6>

Bianco, V., Berchicci, M., Perri, R. L., Quinzi, F. y Di Russo, F. (2017). Exercise-related cognitive effects on sensory-motor control in athletes and drummers compared to non-athletes and other musicians. *Neuroscience*, 360(8), 39–47.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2017.07.059>

Browne, R. A. V., Costa, E. C., Sales, M. M., Fonteles, A. I., Vila Nova de Moraes, J. F. y de França Barros, J. (2016). Acute effect of vigorous aerobic exercise on the inhibitory control in adolescents. *Revista Paulista de Pediatria*, 34(2), 154 – 161. <https://doi.org/10.1016/j.rppede.2016.01.005>

Chang, Y. K., Chi, L., Etnier, J. L., Wang, C. C., Chu, C. H. y Zhou, C. (2014). Effect of acute aerobic exercise on cognitive performance: Role of cardiovascular fitness. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(5), 464-470.
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.04.007>

Chen, A. G., Yan, J., Yin, H. C., Pan, C. Y. y Chang Y. K. (2014). Effects of acute aerobic exercise on multiple aspects of executive function in preadolescent children. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(6), 627-636.
<https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.06.004>

Chen, A. G., Zhu, L. N., Yan, J. y Yin, H. C. (2016). Neural basis of working memory enhancement after acute aerobic exercise: fMRI study of preadolescent children. *Frontiers in Psychology*, 7, 1804. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01804>

- Coetsee, C. y Terblanche, E. (2017). The effect of three different exercise training modalities on cognitive and physical function in a healthy older population. *European Review of Aging and Physical Activity*, 14(1), 13.
<https://doi.org/10.1186/s11556-017-0183-5>
- Collette, F., Hogge, M., Salmon, E. y van der Linden, M. (2006). Exploration of the neural substrates of executive functioning by functional neuroimaging. *Neuroscience*, 139(1), 209-221.
<https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2005.05.035>.
- Drollette, E. S., Shishido, T., Pontifex, M. B. y Hillman, C. H. (2012). Maintenance of cognitive control during and after walking in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(10), 2017–2024.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318258bcd5>
- Eriksen, B. A. y Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16(1), 143–149. <https://doi.org/10.3758/BF03203267>
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J. S., Heo, S., Alves, H., White, S. M., Wojcicki, T. R., Mailey, E., Vieira, V. J., Martin, S. A., Pence, B. D., Woods, J. A., McAuley, E. y Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), 3017–3022. <https://doi.org/10.1073/pnas.1015950108>
- Garber, E. G., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Frankling, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., Nieman, D. y Swain, D. P. (2011). Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Medicine*

and Science in Sports and Exercise, 43(7), 1334-1359.

<https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e318213fefb>

Hayes, S. M., Forman, D. E. y Verfaellie, M. (2014). Cardiorespiratory fitness is associated with cognitive performance in older but not younger adults. *The Journals of Gerontology Series B: Psychological Sciences and Social Sciences*, 71(3), 474–482. <https://doi.org/10.1093/geronb/gbu167>

Hernández-Campos, M., Molina-Delgado, M., Smith-Castro, V. y Rodríguez-Villagra, O. A. (2020). Funciones Ejecutivas entre músicos y no músicos: un metaanálisis. *Interdisciplinaria*, 37(2), 39-60. <https://doi.org/10.16888/interd.2020.37.2.3>

Hogan, M., Kiefer, M., Kubesch, S., Collins, P., Kilmartin, L. y Brosnan, M. (2013). The interactive effects of physical fitness and acute aerobic exercise on electrophysiological coherence and cognitive performance in adolescents. *Experimental Brain Research*, 229(1), 85–96. <https://doi.org/10.1007/s00221-013-3595-0>

Hogan, C. L., Mata, J. y Carstensen L. L. (2013). Exercise holds immediate benefits for affect and cognition in younger and older adults. *Psychology and Aging*, 28(2), 587–594. <https://doi.org/10.1037/a0032634>

Hsieh, S. y Liu, L. C. (2005). The nature of switch cost: Task set configuration or carryover effect? *Cognitive Brain Research*, 22(2), 165–175. <https://doi.org/10.1016/j.cogbrainres.2004.08.006>

Hwang, J., Brothers, R. M., Castelli, D. M., Glowacki, E. M., Chen, Y. T., Salinas, M., Kim, J., Jung, Y. y Calvert, H. G. (2016). Acute high-intensity exercise-induced cognitive enhancement and brain-derived neurotrophic factor in young, healthy adults. *Neuroscience Letters*, 630, 247–253. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2016.07.033>

- Ishihara, T., Sugasawa, S., Matsuda, Y. y Mizuno, M. (2016). Improved executive functions in 6–12-year-old children following cognitively engaging tennis lessons. *Journal of Sports Sciences*, 35(20), 2014–2020.
<https://doi.org/10.1080/02640414.2016.1250939>
- Ishihara, T., Sugasawa, S., Matsuda, Y. y Mizuno, M. (2017). The beneficial effects of game-based exercise using age-appropriate tennis lessons on the executive functions of 6–12-year-old children. *Neuroscience Letters*, 642, 97–101.
<https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.01.057>
- Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A. y Roebbers, C. M. (2014). Cognitive and physiological effects of an acute physical activity intervention in elementary school children. *Frontiers in Psychology*, 5, 1473.
<https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01473>
- Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A. y Roebbers, C. M. (2015). The effects of qualitatively different acute physical activity interventions in real-world settings on executive functions in preadolescent children. *Mental Health and Physical Activity*, 9, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2015.05.002>
- Jiang, C. M., Zhang, Y. M., Zhang, Y. F. y Meng, Y. Z. (2009). Identification on evaluation of participating degree in physical exercise for both urban and rural residents in China. *China Sport Science*, 5, 24–31.
<https://doi.org/10.16469/j.css.2009.05.003>
- Jonasson, L. S., Nyberg, L., Kramer, A. F., Lundquist, A., Riklund, K. y Boraxbekk, C. J. (2017). Aerobic exercise intervention, cognitive performance, and brain structure: Results from the physical influences on brain in aging (PHIBRA) study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 336.
<https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00336>

Kamijo, K. y Takeda, Y. (2010). Regular physical activity improves executive function during task switching in young adults. *International Journal of*

Psychophysiology, 75(3), 304–311.

<https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2010.01.002>

Kao, S.-C., Wang, C. H., Kamijo, K., Khan, N. y Hillman, C. (2021). Acute effects of highly intense interval and moderate continuous exercise on the modulation of neural oscillation during working memory. *International Journal of*

Psychophysiology: Official Journal of the International Organization of

Psychophysiology, 160, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.ijpsycho.2020.12.003>

Kimura, K., y Hozumi, N. (2012). Investigating the acute effect of an aerobic dance exercise program on neuro-cognitive function in the elderly. *Psychology of Sport*

and Exercise, 13(5), 623-629. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2012.04.001>

Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S. y Bherer, L. (2013). Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain and Cognition*, 81(1), 10–17.

<https://doi.org/10.1016/j.bandc.2012.10.001>

Lee, T. M. C., Wong, M. L., Lau, B. W. M., Lee, J. C. D., Yau, S. Y. y So, K. F. (2014).

Aerobic exercise interacts with neurotrophic factors to predict cognitive

functioning in adolescents. *Psychoneuroendocrinology*, 39(1), 214-224.

<https://doi.org/10.1016/j.psyneuen.2013.09.019>

Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A. y Wager, T.

D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive*

Psychology, 41(1), 49–100. <https://doi.org/10.1006/cogp.1999.0734>

- Navon, D. (1977). Forest before three: the precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9(3), 353-383.
[https://doi.org/10.1016/0010-0285\(77\)90012-3](https://doi.org/10.1016/0010-0285(77)90012-3)
- Netz, Y., Abu-Rukun, M., Tsuk, S., Dwolatzky, T., Carasso, R., Levin, O. y Dunsky, A. (2016). Acute aerobic activity enhances response inhibition for less than 30 min. *Brain and Cognition*, 109, 59–65. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2016.08.002>
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32(1), 3–25.
<https://doi.org/10.1080/00335558008248231>
- Predovan, D., Fraser, S., Renaud, M. y Bherer, L. (2012). The effect of three months of aerobic training on stroop performance in older adults. *Journal of Aging Research*, 2012(2). <https://doi.org/10.1155/2012/269815>
- Schmidt, M., Jäger, K., Egger, F., Roebers, C. M. y Conzelmann, A. (2015). Cognitively engaging chronic physical activity, but not aerobic exercise, affects executive functions in primary school children: A group-randomized controlled trial. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 37(6), 575 -591.
<https://doi.org/10.1123/jsep.2015-0069>
- Scott, S. P., De Souza, M. J., Koehler, K., Petkus, D. L. y Murray-Kolb, L. E. (2016). Cardiorespiratory fitness is associated with better executive function in young women. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(10), 1994–2002.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000974>
- Soga, K., Shishido, T. y Nagatomi, R. (2015). Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychology of Sport and Exercise*, 16(P3), 7-17. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.010>

- Sinclair, B., Steward, C., Venkatraman, V., Aljondi, R., Cox, K. L., Ellis, K. A., Ames, D., Masters, C. L., Phal, P. M., Sharman, M. J., Cyarto, E. V., Lai, M. M. Y., Szoeker, C., Lautenschlager, N. T. y Desmond, P. M. (2021). Effects of a physical activity intervention on brain atrophy in older adults at risk of dementia: a randomized controlled trial. *Brain Imaging and Behavior*, *15*(6), 2833–2842. <https://doi.org/10.1007/s11682-021-00577-7>
- Stern, Y., MacKay-Brandt, A., Lee, S., McKinley, P., McIntyre, K., Razlighi, Q., Agarunov, E., Bartels, M. y Sloan, R. P. (2019). Effect of aerobic exercise on cognition in younger adults: A randomized clinical trial. *Neurology*, *92*(9), e905–e916. <https://doi.org/10.1212/wnl.00000000000007003>
- Stroop, J. R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, *18*(6), 643–662. <https://doi.org/10.1037/h005465>
- Tirapu-Ustarroz, J., Bausela-Herreras E. y Cordero-Andres, P. (2018). Model of executive functions based on factorial analyses in child and school populations: a meta-analysis. *Revista de Neurología*, *67*(6), 215-225. <https://doi.org/10.33588/rn.6706.2017450>
- Tsai, C. L., Pan, C. Y., Chen, F. C., Wang, C. H. y Chou, F. Y. (2016). Effects of acute aerobic exercise on a task-switching protocol and brain-derived neurotrophic factor concentrations in young adults with different levels of cardiorespiratory fitness. *Experimental Physiology*, *101*(7), 836-850. <https://doi.org/10.1113/EP085682>
- Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., Isaka, T. y Hashimoto, T. (2016a). Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous

exercise. *Physiology and Behavior*, *155*, 224–230.

<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2015.12.021>

Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., Isaka, T., Ogoh, S. y Hashimoto, T. (2016b). Repeated high-intensity interval exercise shortens the positive effect on executive function during post-exercise recovery in healthy young males. *Physiology and Behavior*, *160*, 26–34.

<https://doi.org/10.1016/j.physbeh.2016.03.029>

Vaughan, L. y Giovanello, K. (2010). Executive function in daily life: Age-related influences of executive processes on instrumental activities of daily living. *Psychology and Aging*, *25*(2), 343–355. <https://doi.org/10.1037/a0017729>

Vencunus, T., Snieckus, A., Trinkunas, E., Baranauskiene, N., Solianik, R., Juodsnukis, A., Vytautas, S. y Sigitas Kamandulis, S. (2016). Interval running training improves cognitive flexibility and aerobic power of young healthy adults. *Journal of Strength and Conditioning Research*, *30*(8), 2114-2121.

<https://doi.org/10.1519/JSC.0000000000001322>

Wechsler, D. (1997). *Wechsler memory scale* (3rd Ed.). San Antonio: Psychological Corporation.

Wengard, E., Kristoffersen, M., Harris, A. y Gundersen, H. (2017). Cardiorespiratory fitness is associated with selective attention in healthy male high-school students. *Frontiers in Human Neuroscience*, *11*, 330.

<https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00330>

Yu, Q., Chan, C. C. H., Chau, B. y Fu, A. S. N. (2017). Motor skill experience modulates executive control for task switching. *Acta Psychologica*, *180*, 88–97.

<https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2017.08.013>

Zach, S. y Shalom, E. (2016). The influence of acute physical activity on working memory. *Perceptual and Motor Skills*, 122(2), 365-374.

<https://doi.org/10.1177/0031512516631066>

Recibido: 26 de agosto de 2021

Aceptado: 9 de mayo de 2022