

Efecto del ejercicio y la actividad física sobre las funciones ejecutivas en niños y en jóvenes. Una revisión sistemática

Effect of exercise and physical activity on executive functions in children and young people. A systematic review

José Ángel Medina Cascales¹, Francisco Alarcón López^{1,2}, Alberto Castillo Díaz¹ y David Cárdenas Vélez²

¹ Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM)

² Universidad de Granada.

Resumen: En la presente revisión sistemática cualitativa se intenta avanzar en el conocimiento sobre la incidencia de la actividad física sobre las funciones ejecutivas, focalizada en poblaciones sanas infantiles, adolescentes y jóvenes. Se identificaron, categorizaron y analizaron artículos de bases de datos electrónicas como ISI Web of Knowledge, SCOPUS, PubMed, SPORTDiscus, PsyINFO, ERIC, Google Scholar y Dialnet. Atendiendo a los criterios de inclusión/exclusión, siguiendo la declaración PRISMA para registrar y categorizar los resultados, y mediante la herramienta de evaluación de calidad "The Effective Public Health Practice Project", se seleccionaron finalmente 44 investigaciones experimentales, estructuradas en episodios agudos y crónicos de actividad física bajo dos enfoques: cuantitativos y cualitativos. Los resultados muestran una superior cantidad de experimentos con episodios agudos cuantitativos (45,45%), frente a los agudos cualitativos (18,18%), crónicos cuantitativos (20,45%) y crónicos cualitativos (15,92%). Los análisis de estas investigaciones han permitido identificar los beneficios de los diferentes tipos de actividad física estudiados sobre los componentes ejecutivos.

Palabras clave: funciones ejecutivas; actividad física; ejercicio; jóvenes.

Abstract: This qualitative systematic review tries to advance knowledge about the effect of physical activity on executive functions, paying special attention to healthy children, teenagers and youngsters. Several articles have been identified, categorized and analyzed in electronic databases such as ISI Web of Knowledge, SCOPUS, PubMed, SPORTDiscus, PsyINFO, ERIC, Google Scholar and Dialnet. According to the inclusion/exclusion criteria, following the PRISMA statement to record and categorize the results and throughout the quality assessment tool "The Effective Public Health Practice Project", 44 pieces of research, structured in acute and chronic episodes of physical activity under two approaches: qualitative and quantitative, were chosen. The results show a higher number of experiments with quantitative acute episodes (45,45%) against qualitative ones (18,18%), chronic quantitative (20,45%) and chronic qualitative episodes (15,92%). The analysis of these investigations has allowed identifying the benefits of different types of physical activity studied on executive components.

Key words: executive functions; physical activity; exercise; youth.

Introducción

Diferentes investigaciones evidencian que el ejercicio físico, realizado una intensidad moderada o vigorosa, puede promover mejoras en la función mental, sobre todo en las capacidades cognitivas denominadas Funciones Ejecutivas (FE). Estas son relevantes para el control del comportamiento y pueden ser agrupadas según su implicación tanto en la formulación de metas, como en la planificación de estrategias para lograr objetivos, así como, en el uso de las aptitudes necesarias para llevar a cabo esas actividades de manera eficaz (Tirapu-Ustárroz, Muñoz-Céspedes & Pelegrín-Valero, 2002).

Las FE han demostrado sus beneficios en la adaptación comportamental de los niños (Tomprowski, McCullick, Pendleton, & Pesce, 2015), . Unos mayores valores en las FE

se relaciona con una mayor capacidad de autorregulación (Robinson, Palmer & Bub, 2016), de resolución de conflictos (Garaigordobil & Berruero, 2007) o inteligencia fluida.

Estas FE pueden considerarse como una familia de tres componentes básicos interrelacionados: inhibición, memoria de trabajo (MT) y flexibilidad cognitiva (FC) (Diamond, 2013; Miyake et al., 2000). De estos componentes, se construyen las FE de orden superior, como la planificación o la solución de problemas (Collins & Koechlin, 2012; Lunt et al., 2012).

Según Hasher, Lustig & Zacks (2008), los mecanismos inhibitorios se podrían diferenciar atendiendo a las tres funciones que desarrollan. La primera estaría relacionada con la capacidad de inhibir la atención a los estímulos irrelevantes para los objetivos de la tarea. La segunda permitiría detener procesos o respuestas motoras que resultan prepotentes en un contexto o una tarea determinada, pero no son adecuados para su correcta realización. La tercera eliminaría de la memoria de trabajo aquella información que fue relevante, pero, que por los cambios de la tarea, ha dejado de serlo.

Dirección para correspondencia [Correspondence address]: José Ángel Medina Cascales. Universidad Católica San Antonio de Murcia. Facultad de Ciencias del Deporte y de la Actividad Física. Av. de los Jerónimos, 135, 30107 Guadalupe, Murcia (España). E-mail: joseangelmedinacascals@gmail.com

Por su parte, la MT implica mantener la información en la mente y operar con ella (Miyake et al., 2000) mientras se realizan una o más operaciones mentales (Diamond & Ling, 2016).

La FC es la capacidad de adaptarse de forma flexible a las demandas o prioridades cambiantes del ambiente, y permitiría modificar las estrategias y el plan de acción previsto ante acciones repentinas e inesperadas, cuando el plan original no es el más apropiado (Diamond, 2013).

Los revisores que emplean meta-análisis indican que la fuerza de la relación entre las FE y el ejercicio físico disminuye a medida que aumenta la calidad metodológica. Además, existe poco control de las diferencias individuales y de las variables que pudieran explicarlas, y que han resultado determinantes en los estudios de entrenamiento cognitivo, como los rasgos de personalidad de los participantes o variables ambientales, como el tipo de crianza o el estatus socioeconómico familiar (Rueda et al., 2016).

Uno de los principales problemas de estas revisiones, es que no delimitan la población a la que van dirigidas, y que puede ser de cuatro tipos: tercera edad, niños con necesidades especiales (TDHA, hiperactividad, autismo), obesos y niños y/o adultos sanos. Así, por ejemplo, los datos apoyan una relación negativa entre obesidad, sobrepeso y los distintos aspectos del funcionamiento neurocognitivo, como son las FE (la atención, el rendimiento visuo-espacial y las habilidades motoras), tanto en personas mayores (Dao et al., 2013), como en jóvenes (Bove et al., 2013), adolescentes o niños (Liang, Matheson, Kaye & Boutelle, 2014), pudiendo provocar que se alcancen conclusiones erróneas. Otro de los problemas, es que al utilizar diferentes criterios el lector no tiene claro ni el tipo de AF que genera dichos cambios, ni a qué componentes ejecutivos afecta en mayor medida.

La finalidad de este artículo es realizar una revisión sistemática que palie los problemas anteriormente descritos y complete el estado actual de la literatura científica, para establecer unas recomendaciones claras que ayuden tanto a los profesionales de la Actividad Física y el Deporte, como de la Educación, a planificar y actuar con mayor rigor.

Método

Debido a que el tamaño de las muestras y los instrumentos de evaluación de los estudios seleccionados varían significativamente, se tomó la decisión de no realizar un metaanálisis, pues éste es solo aplicable cuando los datos de los diferentes estudios son homogéneos (Eysenck, 1995). Por tanto, se optó por una revisión sistemática cualitativa siguiendo las indicaciones de Fernández-Ríos & Buéla-Casal, (2009) y Sánchez-Meca, (2010) en el periodo comprendido por los 10 últimos años.

Procedimiento

Estrategias de búsqueda

Siguiendo las recomendaciones de Durlak & Lipsey (1991) y de Rothstein & Hopewell (2009), y con el objetivo de reducir al máximo el posible sesgo en el proceso de selección de los artículos, se realizó una revisión exhaustiva al consultar las bases de datos ISI Web of Knowledge, SCOPUS, PubMed, SPORTDiscus, PsyINFO, ERIC, Google Scholar y Dialnet, con fecha 12 de mayo de 2019. Para la selección de los descriptores de búsqueda se consultaron tanto los thesaurus de dichas bases de datos como a 2 expertos en la materia.

Exploración de la calidad de las investigaciones

Las diferencias en la calidad de las investigaciones seleccionadas pueden ejercer cierta influencia en las conclusiones que se viertan sobre la temática. Por ello, y contemplando la sugerencia de Thomas, Ciliska, Dobbins & Micucci (2004), y con la intención de incrementar tanto la validez interna como la fiabilidad de dichos resultados, se analizaron las fuentes más relevantes de sesgo, utilizando uno de los seis instrumentos recomendados por Deeks et al. (2003), como es la herramienta de evaluación de calidad "The Effective Public Health Practice Project (EPHPP)". A través de ella se evaluó el sesgo de selección, el diseño del estudio, el control de las variables extrañas, el cegamiento, el método de recopilación de datos y el abandono o mortalidad experimental, para determinar si la investigación presentaba una calidad fuerte (sin ninguna calificación débil), moderada (con una calificación débil) o débil (con más de una calificación débil).

El estudio de la calidad de los estudios que se han seleccionado en esta revisión, indica que 39 de ellos (88,63%) han sido calificados con calidad fuerte, y los otros cinco (11,37%) con calidad moderada. La muestra global de todas las investigaciones incluye 7.051 sujetos.

Criterios de inclusión

Considerando la calidad de los estudios individuales y con la intención de que los potenciales sesgos de las investigaciones incluidas fueran mínimos, para favorecer la validez de las conclusiones de la presente revisión sistemática (Marín, Sánchez & López, 2009), se establecieron los criterios de inclusión/exclusión siguiendo las recomendaciones de Cartwright-Hatton, Roberts, Chitsabesan, Fothergill & Harrington (2004): (1) artículos académicos originales (2) sometidos a revisión por pares, (3) diseños experimentales, (4) relacionados con contextos escolares o deportivos, (5) que versen sobre la temática objeto de estudio, (6) que la muestra corresponda a una población sana, sin ningún tipo de enfermedad o

discapacidad, (7) que no presente obesidad ni sobrepeso, (8) que no pueda ser considerada como adultos mayores o tercera edad, (9) que la fecha de publicación del artículo no tenga una antigüedad superior a los 10 años.

También se realizó una revisión ascendente de la literatura recuperada, con el fin de localizar nuevas investigaciones que no hubieran sido identificadas durante el proceso de búsqueda. El total de referencias localizadas y seleccionadas fueron importadas al gestor de referencias Mendeley, versión 1.16.3.

Selección de estudios

Para el registro y categorización de los resultados obtenidos se siguió la línea marcada por la declaración PRISMA (Urrútia & Bonfill, 2010), identificándose un total de 14897 estudios científicos entre las bases de datos mencionadas. En la fase de cribado se eliminaron un total de 5241 estudios por encontrarse duplicados. De los restantes, fueron seleccionados para una evaluación detallada 711 investigaciones, rechazándose 603 por no ajustarse completamente a los criterios de inclusión o no ser accesibles. En la fase de elegibilidad fueron seleccionados para analizar en profundidad un total de 154 artículos científicos, de los cuales se descartaron 110 por incumplir los criterios de inclusión establecidos, quedando definitivamente 44. Todo este proceso queda descrito en el diagrama de flujo ofrecido en la Figura 1.

Tras la selección definitiva, se registró la información más relevante de dichos estudios en tablas, estructuradas en función de la atención a dos tipos de comparaciones: efecto agudo vs efecto crónico; enfoque cuantitativo vs enfoque cualitativo. En la Tabla 1, se presentan los estudios que investigan el efecto agudo con un enfoque cuantitativo; en la Tabla 2, los que analizan los efectos crónicos con un enfoque cuantitativo; en la Tabla 3, los que estudian efectos agudos bajo enfoques

cualitativos; en la Tabla 4, los que investigan los efectos crónicos con enfoques cualitativos.

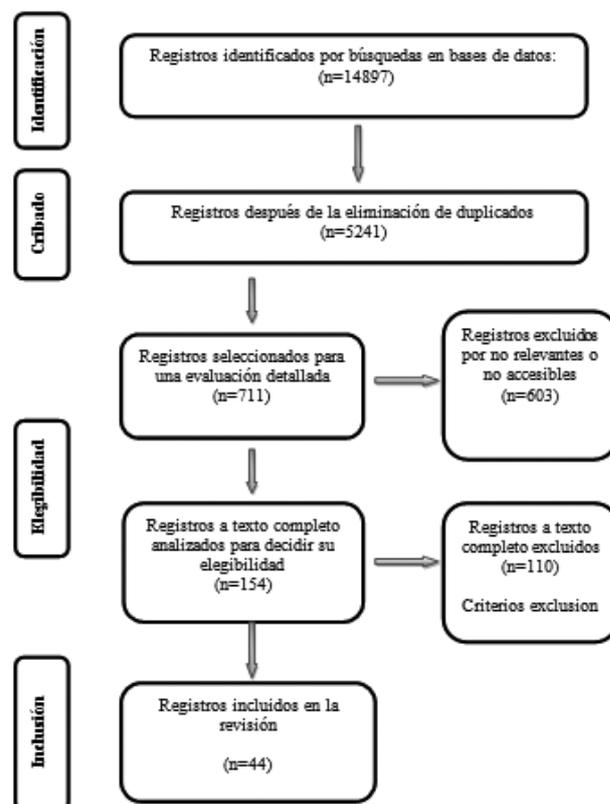


Figura 1. Diagrama de flujo.

Resultados

Estudios con intervención cuantitativa y efecto agudo

Tabla 1. FE como variables dependientes, con intervención aguda y cuantitativa.

Estudio (Id.)	Participantes, Condiciones	Participantes, Condiciones	Resultados
(Del Giorno, Hall, O'Leary, Bixby & Miller, 2010)	30 (20,2 años) (GE1+GE2)	-AF moderada y vigorosa, 30 minutos al 75% del umbral ventilatorio o en el propio umbral. -Pre, post y repost. -Inhibición y FC.	-Solo se hallaron mejoras en FE inmediatamente después de AF en GE1, pero volvieron a línea base tras 20 minutos
(Huertas, Zahonero, Sanabria, Lupiáñez, 2011)	30 (17 años) (GE1+GE2+GC)	-AF vigorosa y muy vigorosa, 80% de la carga de trabajo máxima, o al 95% o sin pedalear. -Durante. -Atención, TR, FE.	- AF aeróbica > TR con respeto al reposo. -La modulación de intensidad en AF no afecta a FE.
(Alves et al., 2012)	42 (52 años) (GE1+GE2+GC)	-AF moderada y fuerza, 30 minutos, andando o ejercicios de fuerza o sedentario. -Contrabalanceo pre y post. -Inhibición, FC.	-AF aeróbica y fuerza > inhibición con respecto GC. -FC no varió entre los grupos.
(Drollette, Shishido, Pontifex & Hillman, 2012)	36 (10 años) (GE+GC)	-AF moderada, caminar 20 minutos o sedentario. -Contrabalanceada intra-sujeto, pre, durante y post. -Inhibición, MT y atención.	-Durante intervención no hay cambios en FEs. -Tras intervención tras AF > FEs con respecto a GC. -Tras AF selectiva > inhibición y atención, pero no MT.

Estudio (Id.)	Participantes, Condiciones	Participantes, Condiciones	Resultados
(Tam, 2013)	65 (22,4 años) (GE+GC)	-AF moderada, subir escaleras 15-30 min o sedentario. -Contrabalanceada intrasujeto pre y post. -Inhibición, VP.	-Tras AF la inhibición y el VP > significativamente.
(Wang, Chu, Chu, Chan & Chang, 2013)	80 (20,48 años) (GE1+GE2+GE3+GC)	-AF baja/moderada/ vigorosa o sedentario. -Intrasujeto durante intervención. -FC.	-Conforme > intensidad < rendimiento cognitivo. -A alta intensidad < FEs.
(Chen, Yan, Yin, Pan, & Chang, 2014)	87 (9,5 años) (GE+GC)	-AF moderada, correr 30 minutos o sedentario. -Pre y post. -Inhibición, MT y FC.	-AF > FEs con independencia de edad. -A > edad < beneficio en inhibición y MT, y > beneficio de FC.
(Akatsuka, Yamashiro, Nakazawa, Mitsuzono & Maruyama, 2015)	10 (19,8 años) (GE+GC)	-AF moderada, 15 minutos de carrera o sedentario. -Contrabalanceo intrasujeto pre y post. -Inhibición.	-Tras AF > inhibición.
(Berse et al., 2015)	297 (15 años) (GE+GC)	- AF muy vigorosa, carrera con intensidad incremental hasta el agotamiento o sedentario. - Contrabalanceo intrasujeto post. -FC.	-Tras AF > FC.
(Chang et al., 2015)	26 (11 años) (GE1+GE2+GE3+GE4+GC)	- AF moderada, 10, 20 o 45 minutos pedaleo o 30 minutos sedentarios. - Contrabalanceo intrasujeto post. -Inhibición.	-Una dosis de 20 minutos de AF > inhibición significativamente. -A otras dosis hay beneficios pero no significativos.
(Hsieh et al., 2015)	20 (23,95 años) (GE+GC)	-AF fuerza-resistencia o sedentario. -Contrabalanceo intrasujeto post. -MT y TR.	-Tras AF < TR. -Tras AF > MT, siendo estos beneficios > ante altas demandas de MT a > edad.
(Loprinzi & Kane, 2015)	87 (21,4 años) (GE1+GE2+GE3+GC)	-AF baja/moderada/ vigorosa o sedentario. -Contrabalanceo intrasujeto post. -FC.	-A intensidad moderada > FC significativamente con respecto al GC. -Asociación negativa entre GC y FC con respecto AF. -La capacidad cardiorrespiratoria se asocia positivamente con FC.
(Soga, Shishido, & Nagatomi, 2015)	28 (15,6 años) (GE1+GE2+GC)	-AF moderada y vigorosa, andando o sedentario. -Contrabalanceo intrasujeto: pre, durante y post. -Inhibición, TR, atención y MT.	-Tras AF moderada < MT; = inhibición. -Tras AF intensa < MT; = inhibición y atención.
(Smith et al., 2016)	15 (28 años) (GE1+GE2+GC)	-AF moderada y vigorosa, 10 minutos o sedentario. -Contrabalanceo post. -Inhibición y atención.	-A alta intensidad > TR y tasa de error con respecto a intensidad moderada.
(van den Berg et al., 2016)	180 (11,5 años) (GE1+GE2+GE3+GC)	-AF baja-moderada, fuerza y ejercicios coordinación, 12 minutos. -Contrabalanceo pre y post. -VR y atención.	-AF a intensidad baja o moderada no influye en cognición. -No se hallaron diferencias significativas entre los distintos tipos de AF.
(Zach & Eyal, 2016)	20 (27,3 años) (GE1+GE2+GE3)	-AF moderada, táctica de voleibol o 15 minutos corriendo o anaeróbica láctica. -Pre y post. -MT.	-Los 3 tipos de AF > MT. Pero fue la práctica de voleibol la que > beneficios produjo.
(Benzing, Heinks, Eggenberger, & Schmidt, 2016)	65 (13-16 años) (GE1+GE2+GC)	-AF moderada con y sin implicación cognitiva. -Contrabalanceo intrasujeto pre y post. -Inhibición y FC.	- AF con implicación cognitiva > FC que sin implicación o sedentario.
(Konishi et al., 2017)	9 (21-28 años) (GE1)	-AF vigorosa, 65 minutos carrera al 75% del VO2max. -Pre y post. -Inhibición.	-Pre-Post no significativa en precisión de respuesta. -El tiempo de reacción en la condición incongruente aumentó tras la AF indicando < FE.
(Ramos et al., 2017)	9 (10,3 años) (GE1+GE2+GC)	-AF moderada y vigorosa, 10 minutos de carrera o sedentario. -Post. -MT, FC e inhibición.	-FE > significativamente tras la condición vigorosa, con respecto al control.
(Berrios, Pantoja, & Latorre, 2019)	(Berrios, Pantoja, & Latorre, 2019)	-AF vigorosa con y sin implicación cognitiva. -Pre y post. -MT	-Tras AF > MT. - No se hallan diferencias en el pre-post entre los practicantes de ambos tipos de AF.

Estudios con intervención cuantitativa y efecto crónico

Tabla 2. FE como variables dependientes con intervención cuantitativa y efecto crónico.

Estudio (Id.)	Participantes, Condiciones	Tarea y diseño y FEs	Resultados
(Castelli, Hillman, Hirsch, Hirsch & Drollette, 2011)	(Castelli, Hillman, Hirsch, Hirsch & Drollette, 2011)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 150 días FI- TKids (2 horas de AF) o sin intervención. -Pre y post. -Inhibición y FC.	-Tras intervención > FEs en GE. -El tiempo influye en > rendimiento cognitivo. -La AF vigorosa de < 40 minutos > beneficios cognitivos.
(Kamijo et al., 2011)	43 (8 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 150 días FI- TKids (2 horas de AF) o sin intervención. -Pre y post. -MT.	-La aptitud física influye en MT. -La AF regular se relaciona con el rendimiento cognitivo.
(Chaddock-Heyman et al., 2013)	32 (8,5 años) 24 (22,5 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 150 días FI- TKids (2 horas de AF) o sin intervención. -Pre y post. -Inhibición y FC.	-Tras el ejercicio físico > rendimiento cognitivo (atención e inhibición). -Tras la intervención se mantiene la atención.
(Bugge et al., 2014)	759 (13,5 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 5 meses- programa LCoMotion (60 minutos de AF) o sin intervención. -Pre y post. -Inhibición.	-Tras intervención GE > inhibición.
(Hillman et al., 2014)	221 (8 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 150 días FI- TKids (2 horas de AF) o sin intervención. -Pre y post. -Inhibición y FC.	-GE > rendimiento cognitivo, con respecto a demandas de FC e inhibición en la AF los niveles cognitivos no fueron constantes.
(Alesi et al., 2015)	46 (9,5 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 6 meses- programa de fútbol (coordinación y habilidades) o sedentarios. -Pre y post. -Inhibición y atención.	-Tras intervención GE > rendimiento cognitivo.
(Alesi, Bianco, Lupina, Palma, & Pepi, 2016)	44 (8,8 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 6 meses, 2- sesiones semanales de 75 minutos de un programa de fútbol (coordinación y de habilidades) o sedentarios. -Pre y post. -Atención, inhibición, planificación y MT.	-Tras intervención GE > FEs que GC.
(Pesce et al., 2016)	920 (5-10 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 6 meses- clases de EF con 4 módulos (cardiovascular, coordinación, cognición y habilidades para la vida) o sin intervención. -Pre y post. -Inhibición, atención y MT.	-Tras intervención GE > beneficios en inhibición.
(Kvalø, Bru, Brønnick, & Dyrstad, 2017)	449 (9-10 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso, 10 meses- programa "Active School" incremento semanal FE, aunque no significativamente. -Inhibición, atención selectiva, MT y FC.	-Un incremento del ejercicio físico semanal > incremento semanal FE, aunque no significativamente.

Estudios con intervención cualitativa y efecto agudo

Tabla 3. FE como variables dependientes con intervención cualitativa y efecto agudo.

Estudio (Id.)	Participantes, Condiciones	Tarea y diseño y FEs	Resultados
(Carlier, Delevoye-Turrell & Dione, 2014)	36 sujetos (GE1+GE2+GC)	-AF moderada y nivel de enfoque cualitativo, ciclismo o baile o lectura. -Pre y post. -Inhibición, planificación, MT y FC.	-La AF > significativamente FEs. -El baile > beneficios en FC e inhibición con respecto a ciclistas. -El baile > planificación.
(Jäger, Schmidt, Conzelmann & Roebbers, 2014)	108 (7 años) (GE +GC)	-Grado de compromiso cognitivo de la AF moderada, 3 tareas físicas con compromiso cognitivo o sedentarios. -Pre, post y repost. -Inhibición, actualización.	-El > cortisol predice < inhibición. -La AF influye en la inhibición, y no en la actualización.

Estudio (Id.)	Participantes, Condiciones	Tarea y diseño y FEs	Resultados
(Jäger, Schmidt, Conzelmann & Roebbers, 2015)	209 (11 años) (GE1+GE2+GC)	-Grado de compromiso cognitivo de la AF moderada-vigorosa, AF con implicación cognitiva o AF sin implicación cognitiva o sedentario con implicación cognitiva o sedentario sin implicación cognitiva.	-El compromiso cognitivo de la tarea no influye en las FEs. -A > aptitud física > < actualización.
(Benzing et al., 2016)	65 (13-16 años) (GE1+GE2+GC)	-AF moderada con y sin implicación cognitiva.	-Con-AF con implicación cognitiva > FC que trabalanceo intrasujeto pre y post. -Inhibición y FC. sin implicación o sedentario.
(Ishihara, Sugawara, Matsuda & Mizuno, 2017)	81(6-12 años) (GE1+GE2+GC)	-Enfoque cognitivo de AF, 50 minutos lección basada en la técnica o basada en el juego o sedentario.	-Ambos tipos de AF > FE. -Mejoras FE en la técnica. -Pre y > en lección basada en el juego que en la basada en la técnica. - La MT solo > en lección juego.
(Stein, Auerwald, & Ebersbach, 2017)	102 (5-6 años) (GE+GC)	-Intervención coordinativa aguda adaptada a los niños, ejercicios con alta demanda coordinativa con ambas extremidades derecha e izquierda del tipo (lanzar/patear pelotas) o actividades simples (estampado).	-Funciones motoras y FE correlacionan significativamente, especialmente la FC. -Los efectos de AF coordinativa, no aparecen en la inhibición ni en la FC.
(Egger, Conzelmann, & Schmidt, 2018)	216 (7,94 años) (GE1+GE2+GE3+GC)	-AF moderada y vigorosa, 20 minutos de juegos variando las cargas físicas y mental entre grupos.	-FC < tras alta carga mental. -MT e inhibición no varió entre grupos.
(Kulinna et al., 2018)	192 (9,5 años) (GE+GC)	- AF moderada (danza) o clase académica regular, de 50 minutos.	-Inhibición > significativamente tras AF (danza).

Estudios con intervención cualitativa y efecto crónico

Tabla 4. FE como variables dependientes con intervención cualitativa y efecto crónico.

Estudio (Id.)	Participantes, Grupos/Condiciones	Tarea y diseño y FEs	Resultados
(Martín et al., 2015)	54 (15,5 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico vigoroso, 8 semanas de incremento de AF 90 minutos (60+30), 4 días semanales mediante juegos reducidos o sin variación de tiempo de ejercicio físico.	-Tras intervención GE > MT y FC. -Se observa influencia de la edad con respecto a FEs.
(Martins & Gotuzo, 2015)	70 (5,5 años) (GE+GC)	-Nivel de autorregulación, y ejercicio físico moderado-vigoroso, 4,5 meses de Programa de Intervención para la Autorregulación y FEs (PIAFEx) o sin intervención.	-Tras intervención GE > inhibición y atención. -No se observaron variaciones significativas en FC y MT.
(Dalziell, Boyleb, & Mutriera, 2015)	46 (9,5 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico moderado-vigoroso (deportes colectivos y actividades de gimnásticas), 4 meses de programa BMT o clases EF normales.	-Tras intervención GE > inhibición, FC y MT post y repost. -Inhibición, MT y FC.
(Lind et al., 2018)	931 (10-12 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico vigoroso simultáneo con carga cognitiva, 11 semanas durante 2 sesiones semanales de 45 minutos cada una.	-Tras intervención GE > MT frente a GC.
(Ludyga, Gerber, Herrmann, Brand, & Pühse, 2018)	36 (12-15 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico con implicación cognitiva mediante juegos de pelota en descansos escolares, 8 semanas de programa con sesiones 5 veces a la semana de 20 minutos cada una.	-Tras intervención GE > inhibición.
(Ludyga, Gerber, Kamijo, Brand, & Pühse, 2018)	36 (12,5 años) (GE+GC)	-Ejercicio físico con implicación cognitiva mediante ejercicios de carácter aeróbico con implicación cognitiva (juegos de cooperación de oposición, de carrera de relevos y juegos de pelota), 8 semanas de programa con sesiones 5 veces a la semana de 20 minutos cada una.	-Tras intervención GE > MT frente al GC. -El GC no obtuvo ningún efecto.
(Sánchez-López et al., 2019)	900 (4-6 años) (GE1+GE2+GC)	-Ejercicio físico vigoroso con una alta implicación cognitiva, (MOVIDA10 enriquecido) y con implicación cognitiva (MOVIDA10 estándar enriquecido).	-Tras un año de MOVIDA10 enriquecido > inhibición, MT y FC.

Discusión y conclusiones

El objetivo principal de esta revisión sistemática era alcanzar un alto grado de estructuración de las diferentes investigaciones realizadas en los últimos 10 años que abordan la influencia de la AF sobre las FE. Para ello, se han considerados aquellos factores mediadores del efecto del ejercicio físico, como el tipo de actividad y los parámetros que la determinan, tanto desde el punto de vista cuantitativo (volumen, intensidad, densidad), como cualitativos: por un lado asociados a la continuidad del ejercicio en el tiempo (carácter continuo o intermitente), a la cualidad condicional desarrollada (velocidad, fuerza, resistencia) o al tipo de requerimientos asociados (sólo físicos, cognitivos, emocionales).

Efecto agudo de la AF en el rendimiento cognitivo

Tras un análisis de los estudios que analizan los efectos agudos de una manipulación cuantitativa de la AF, la falta de evidencia encontrada impide que se pueda concluir una relación causal entre AF y FE. Para entender mejor dicha relación es necesario partir de aquellos mediadores que han mostrado una mayor influencia, entre los cuales destaca la intensidad de la AF practicada. Los resultados muestran una posible relación indirecta con las FE. Así, Wang, Chu, Chu, Chan & Chang (2013), tras estudiar los efectos de AF a distintas intensidades, encontraron que conforme aumentaba la intensidad disminuía el rendimiento cognitivo. Loprinzi & Kane (2015), por su parte, encontraron un efecto agudo negativo sobre la flexibilidad cognitiva cuando la AF superaba el 70% de la FC máxima. Soga et al. (2015) obtuvieron un decremento en la MT al aumentar la intensidad de la AF. Smith et al. (2016), tras comparar dos tareas con distintas intensidades (90 y 70% de la FC de reserva), comprobaron que existía un descenso en la precisión y el tiempo de respuesta cognitiva en la tarea de mayor intensidad. En cambio, Ramos et al. (2017) hallaron mayor rendimiento en las pruebas de evaluación de las FE cuando se desarrollaba una AF al 110% del umbral del lactato (UL) que cuando se realizaba al 90% o antes conductas sedentarias.

Otras variables que han mediado en los resultados encontrados incluyen algunas características del niño, como su condición física de partida o el nivel inicial en sus FE. Chen et al. (2014) hallaron que, conforme aumentaba la edad disminuían las mejoras en la MT e inhibición y aumentaban las de la FC. Loprinzi & Kane (2015) asociaron las mejoras en FC a la capacidad cardiorrespiratoria de los participantes. Kamijo et al. (2011) encontraron que, a medida que existía una aptitud física más elevada, el incremento en la MT era mayor.

En cambio, existen otros estudios en los que no se han encontrado ningún beneficio ni para la MT (Drollette, Shishido, Pontifex & Hillman, 2012), ni para la inhibición (Ko-

nishi et al., 2017; Kvalø, Bru, Brønnick & Dyrstad, 2017), así como, con la FC (Alves et al., 2012). Todo ello ha llevado a la búsqueda de las variables que realmente inciden en las FE, aumentando el interés por el ejercicio físico con requerimientos cognitivos, como el que se practica en los deportes de equipo o los juegos de interacción (Esteban-Cornejo et al., 2014). De hecho, cuando se ha investigado el efecto del ejercicio físico que implicaba una carga mental concomitante se han encontrado beneficios positivos en las FE (Tomporowski et al., 2015). La “hipótesis de estimulación cognitiva” sugiere que las actividades cognitivamente exigentes pre-activan las mismas regiones del cerebro que se utilizan para controlar procesos cognitivos de orden superior (Best, 2010). Esto implicaría que una mayor participación cognitiva durante la AF se podría asociar con un mejor rendimiento cognitivo posterior.

Sin embargo, ninguno de los estudios que investigan la influencia de la carga cognitiva inherente a la AF ha revelado efectos sobre la FC. Respecto a la actualización o la inhibición, algunas investigaciones han encontrado beneficios (Budde, Voelcker-Rehage, Pietraszyk-Kendziorra, Ribeiro & Tidow, 2008), mientras que en otras apenas se ha detectado influencia (Best, 2012). Teniendo en cuenta estos resultados contradictorios sacar conclusiones definitivas sobre el efecto agudo de la carga cognitiva inherente a la AF en las FE es casi imposible (Benzing et al., 2016; Egger et al., 2018).

Por otro lado, los estudios analizados no dejan claro si los beneficios agudos de la AF sobre el rendimiento cognitivo se producen gracias a la carga mental inherente o a la interacción de la AF con dicha carga. Cuando se ha comparado el efecto agudo de tareas solo con requerimientos cognitivos con aquellas que poseen también una carga física los resultados no son concluyentes. Así, autores como Kulinna et al. (2018) y Noriaki et al. (2016), tras analizar el efecto agudo de diferentes tareas con carga mental en un grupo de escolares, hallaron que los mayores beneficios en la capacidad inhibitoria fueron para la tarea física con implicación cognitiva (reto motor). En cambio, estudios como los de Jäger, Schmidt, Conzelmann & Roebers (2015) o Stein, Auerswald & Ebersbach (2017) no hallaron dicho efecto esperado en comparación con las que solo tenían requerimientos cognitivos.

Los motivos de estas conclusiones pueden ser diversos. En primer lugar, sería necesario manipular de manera sistemática tanto la carga física como la carga mental implícita de la tarea, y tener una verificación de dicha manipulación. Esto no ocurre en la mayoría de estudios, en los que se comparan dos actividades completamente diferentes (Benzing et al., 2016), y sin ninguna medida externa que verifique que las tareas presentan diferentes grados de carga física y/o mental. Según Rueda, Posner & Rothbart (2005) una de las claves es tener un control externo de la dificultad cognitiva de la tarea que se ajuste en cada momento a las capacidades reales

de la persona. En cambio, en la mayoría de estudios se han comparado los valores medios entre grupos, obviando las ganancias individuales. Los resultados entre participantes tras los entrenamientos en ocasiones difieren mucho (Könen & Karbach, 2015). Esto nos lleva a pensar en la importancia de estudiar las diferencias y ganancias individuales durante el entrenamiento para entender estos resultados diferenciales (Buttelmann & Karbach, 2017). En definitiva, estos antecedentes señalan la importancia de ajustar la carga mental de la tarea para que esta signifique constantemente un reto y un desafío para el participante. Según Tomporowski et al. (2011) si esto se consigue, estas condiciones promueven la aparición y desarrollo de las FE.

Tampoco ha existido un control sobre variables emocionales que pudieran influir en los resultados, tales como la motivación o el estado afectivo que suscita la tarea. Una mayor motivación hacia la tarea va a determinar el esfuerzo que el participante está dispuesto a realizar. Y la percepción de esfuerzo percibido que tiene el participante, a su vez viene condicionada por las expectativas de éxito en la tarea (Cárdenas, Conde-González & Perales, 2017). Esto ocurre también con el estado emocional. Puede que los diferentes estados emocionales que suscitan las diferentes tareas estén explicando los cambios en el rendimiento cognitivo. Greene, Bahri & Soto (2010) encontraron beneficios en la memoria de los participantes tras inducir estados emocionales positivos con niveles de activación elevados.

Efecto crónico del ejercicio físico sobre las FE

Aunque la extensa literatura científica que tiene como objetivo analizar los efectos crónicos del ejercicio físico sobre las FE encuentra beneficios, son muy pocos los estudios con la suficiente calidad metodológica para asumir relaciones de causalidad. De ellos, solo en 7 se encontró algún beneficio cognitivo. Sin embargo, existe poco control de las diferencias individuales y de las variables que pudieran explicarlas, y que han resultado determinantes en los estudios de entrenamiento cognitivo, como los rasgos de personalidad de los participantes (el temperamento), o variables ambientales, como el tipo de crianza o el estatus socio-económico familiar (Rueda, Conejero & Guerra, 2016).

Por otro lado, la variable que parece tener una mayor influencia mediadora es la implicación cognitiva presente en la AF. La mayoría de los estudios analizados usan diversas maneras de realizar ejercicio físico en las que los participantes deben implicarse cognitivamente, como deportes de interacción o juegos motores que requieren cooperación y oposición. Así, estudios como los de Berrios et al. (2019), Martín, et al. (2015) y Zach & Eyal (2016) encontraron unos mayores beneficios en la MT cuando la AF se presentaba a través de la aplicación de una estrategia de juego. En esta misma línea,

estudios recientes como los de Ludyga, Gerber, Herrmann, et al. (2018), han obtenido beneficios en la inhibición tras la intervención, a su vez otros como Lind et al. (2018) y Ludyga, Gerber, Kamijo, et al. (2018) hallaron mejoras en la MT tras estas prácticas físicas con implicación cognitiva. Por su parte, Dalziel, Boyleb & Mutriea (2015) y Sánchez-López et al. (2019) obteniendo beneficios en todas ellas.

Según las últimas revisiones, los mecanismos por los cuales estos beneficios son superiores en comparación a una actividad separada de ejercicio y cognición, es conocida como la teoría facilitadora y guía de la neuroplasticidad (Herold, Hamacher, Schega, & Müller, 2018). Estos beneficios surgen de la suma de dos efectos, el efecto facilitador desencadena mecanismos neurofisiológicos que promueven la neuroplasticidad, mientras que la estimulación cognitiva “guía” estos procesos neuroplásticos (Bamidis et al., 2014; Fissler, Küster, Schlee, & Kolassa, 2013).

Por último, al igual que en los estudios con efecto agudo, no ha existido control de las variables emocionales que pudieran estar explicando los resultados. Cuando el ejercicio físico ha generado emociones positivas, produce activaciones neuronales inespecíficas que provocan una mayor tasa de neurogénesis y unos cambios más duraderos en la memoria (Fabel & Kempermann, 2008). Este hecho podría explicar los resultados que se obtienen en las investigaciones seleccionadas que analizan la AF de corte cualitativo, en los que están presentes los principios de complejidad, novedad y diversidad (Moreau & Conway, 2014). Estos pueden generar entornos sociales favorables, y conducir a que los cambios morfológicos sean mayores que ante el ejercicio físico en contextos simples (Best, 2010).

En definitiva, esta revisión sistemática proporciona evidencia limitada para una asociación positiva entre la AF y la función cognitiva en jóvenes sanos. El mayor problema es que el principal enfoque que se le ha dado a los beneficios mentales del ejercicio físico se centra en determinar la dosis adecuada según variables cuantitativas, sin que esto haya ayudado a esclarecer si la práctica de ejercicio físico tiene realmente beneficios cognitivos, ni a determinar, en los casos donde se ha constatado mejora, de cuáles son las verdaderas claves a tener en cuenta. Los escasos estudios con rigor metodológico no permiten establecer conclusiones válidas sobre qué características del ejercicio físico tiene una mayor incidencia, no solo en el rendimiento cognitivo, sino en variables con mayor transferencia a contextos reales como el educativo y el deportivo. Desde nuestro punto de vista, esta inconsistencia podría estar justificada por la falta de control de los aspectos cualitativos de la AF. La naturaleza y orientación de los entornos de práctica constituyen variables determinantes para el desarrollo de las FE (Alarcón, Ureña, Castillo, Martín & Cárdenas, 2017). Es necesario, por tanto, un aumento en la calidad de los diseños mediante la inclusión de una manipulación de la

carga mental durante el desarrollo de la práctica de AF, que permita esclarecer si al controlar las variables contaminantes mencionadas, el ejercicio físico realmente incrementa los

recursos cognitivos y, en tal caso, qué tipo de ejercicio físico provocaría unos beneficios superiores.

Referencias bibliográficas

Las referencias marcadas con un asterisco (*) indican estudios comprendidos en la revisión sistemática.

- 1.* Akatsuka, K., Yamashiro, K., Nakazawa, S., Mitsuzono, R., & Maruyama, A. (2015). Acute aerobic exercise influences the inhibitory process in the go/no-go task in humans. *Neuroscience Letters*, *600*, 80–84. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2015.06.004>
2. Alarcon, F., Ureña, N., Castillo, A., Martín, D., & Cárdenas, D. (2017). Las funciones ejecutivas como predictoras del nivel de pericia en jugadores de baloncesto. *Revista de Psicología Del Deporte*, *26*(1), 71–74.
- 3.* Alesi, M., Bianco, A., Luppina, G., Palma, A., & Pepi, A. (2016). Improving Children's Coordinative Skills and Executive Functions: The Effects of a Football Exercise Program. *Perceptual and Motor Skills*, *122*(1), 27–46. <https://doi.org/10.1177/0031512515627527>
- 4.* Alesi, M., Bianco, A., Padulo, J., Luppina, G., Petrucci, M., Paoli, A., ... Pepi, A. (2015). Motor and cognitive growth following a Football Training Program. *Frontiers in Psychology*, *6*. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01627>
- 5.* Alves, C. R., Gualano, B., Takao, P. R., Avakian, P., Fernandes, R. M., Mistura, D., ... Takito, M. Y. (2012). Effects of acute physical exercise on executive functions: a comparison between aerobic and strength exercise. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, *34*(4), 539–549. <https://doi.org/10.1123/jsep.34.4.539>
6. Bamidis, P. D., Vivas, A. B., Styliadis, C., Frantzidis, C., Klados, M., Schlee, W., & Papageorgiou, S. G. (2014). A review of physical and cognitive interventions in aging. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *44*, 206–220. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2014.03.019>
- 7.* Benzing, V., Heinks, T., Eggenberger, N., & Schmidt, M. (2016). Acute cognitively engaging exergame-based physical activity enhances executive functions in adolescents. *PLoS One*, *11*(12), e0167501. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0167501>
- 8.* Berrios, B., Pantoja, A., & Latorre, P. A. (2019). Acute effect of two different physical education classes on memory in children school-age. *Cognitive Development*, *50*, 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2019.03.004>
- 9.* Berse, T., Rolfes, K., Barenberg, J., Dutke, S., Kuhlenbäumer, G., Völker, K., ... Knecht, S. (2015). Acute physical exercise improves shifting in adolescents at school: evidence for a dopaminergic contribution. *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, *9*(196). <https://doi.org/10.3389/fnbeh.2015.00196>
10. Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, *30*(4), 331–351. <https://doi.org/10.1016/j.dr.2010.08.001>
11. Best, J. R. (2012). Exergaming immediately enhances children's executive function. *Developmental Psychology*. <https://doi.org/10.1037/a0026648>
12. Bove, R. M., Brick, D. J., Healy, B. C., Mancuso, S. M., Gerweck, A. V., Bredella, M. A., ... Miller, K. K. (2013). Metabolic and endocrine correlates of cognitive function in healthy young women. *Obesity (Silver Spring, Md.)*, *21*(7), 1343–1349. <https://doi.org/10.1002/oby.20212>
13. Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrafyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, *441*, 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.06.024>
- 14.* Bugge, A., Tarp, J., Ostergaard, L., Domazet, S. L., Andersen, L. B., Froberg, K., ... Froberg, and K. (2014). LCoMotion – Learning, Cognition and Motion; a multicomponent cluster randomized school-based intervention aimed at increasing learning and cognition - rationale, design and methods. *BMC Public Health*, *14*, 967. <https://doi.org/10.1186/1471-2458-14-967>
15. Buttelmann, F., & Karbach, J. (2017). Development and Plasticity of Cognitive Flexibility in Early and Middle Childhood. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1040. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.01040>
16. Cárdenas, D., Conde-González, J., & Perales, J. C. (2017). La fatiga como estado motivacional subjetivo. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, *10*(1), 31–41. <https://doi.org/10.1016/j.ramd.2016.04.001>
- 17.* Carlier, M., Delevoeye-Turrell, Y., & Dione, M. (2014). Cognitive Benefits of Physical Activity Increased when Producing Rhythmic Actions. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, *126*, 235–236. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.02.391>
18. Cartwright-Hatton, S., Roberts, C., Chitsabesan, P., Fothergill, C., & Harrington, R. (2004). Systematic review of the efficacy of cognitive behaviour therapies for childhood and adolescent anxiety disorders. *The British Journal of Clinical Psychology / the British Psychological Society*, *43*(Pt 4), 421–436. <https://doi.org/10.1348/0144665042388928>
- 19.* Castelli, D. M., Hillman, C. H., Hirsch, J., Hirsch, A., & Drollette, E. (2011). FIT Kids: Time in target heart zone and cognitive performance. *Preventive Medicine*, *52*. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.04.019>
- 20.* Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Voss, M. W., Knecht, A. M., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., ... Kramer, A. F. (2013). The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: A randomized controlled intervention. *Front Hum Neurosci*, *7*, 72. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2013.00072>
- 21.* Chang, Y. K., Chu, C. H., Wang, C. C., Wang, Y. C., Song, T. F., Tsai, C. L., & Etnier, J. L. (2015). Dose-Response Relation between Exercise Duration and Cognition. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, *47*(1), 159–165. <https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000383>
- 22.* Chen, A. G., Yan, J., Yin, H. C., Pan, C. 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>
23. Coles, K., & Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, *26*(3), 333–344. <https://doi.org/10.1080/02640410701591417>
24. Collins, A., & Koechlin, E. (2012). Reasoning, learning, and creativity: Frontal lobe function and human decision-making. *PLoS Biology*, *10*(3). <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1001293>
25. Covassin, T., Weiss, L., Powell, J., & Womack, C. (2007). Effects of a maximal exercise test on neurocognitive function. *British Journal of Sports Medicine*, *41*(6), 370–374. <https://doi.org/10.1136/bjism.2006.032334>
- 26.* Dalziell, A., Boyleb, J., & Mutriea, N. (2015). Better Movers and Thinkers (BMT): An Exploratory Study of an Innovative Approach to Physical Education. *Europe's Journal of Psychology*, *11*(4), 722–741. <https://doi.org/10.5964/ejop.v11i4.950>
27. Dao, E., Davis, J. C., Sharma, D., Chan, a, Nagamatsu, L. S., & Liu-Ambrose, T. (2013). Change in Body Fat Mass Is Independently Associated with Executive Functions in Older Women: A Secondary Analysis of a 12-Month Randomized Controlled Trial. *PLoS ONE*, *8*(1), e52831. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0052831>

28. Deeks, J. J., Dinnes, J., D'Amico, R., Sowden, A. J., Sakarovich, C., Song, F., ... Altman, D. G. (2003). Evaluating non-randomised intervention studies. *Health Technology Assessment (Winchester, England)*, 7(27), 3–10.
- 29.*Del Giorno, J. M., Hall, E., O'Leary, K. C., Bixby, W. R., & Miller, P. C. (2010). Cognitive function during acute exercise: a test of the transient hypofrontality theory. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 32(3), 312–323. <https://doi.org/10.1123/jsep.32.3.312>
30. Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-113011-143750>
31. Diamond, A., & Ling, D. S. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34–48. <https://doi.org/10.1016/j.dcn.2015.11.005>
- 32.*Drollette, E. S., Shishido, T., Pontifex, M. B., & 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>
33. Durlak, J. A., & Lipsey, M. W. (1991). A practitioner's guide to meta-analysis. *American Journal of Community Psychology*, 19(3), 291–332. <https://doi.org/10.1007/BF00938026>
- 34.*Egger, F., Conzelmann, A., & Schmidt, M. (2018). The effect of acute cognitively engaging physical activity breaks on children's executive functions: Too much of a good thing? *Psychology of Sport and Exercise*, 36, 178–186. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2018.02.014>
35. Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Martínez-Gomez, D., Del-Campo, J., González-Galo, A., & Padilla-Moledo, C. (2014). Independent and combined influence of the components of physical fitness on academic performance in youth. *The Journal of Pediatrics*, 165(2), 306–312. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.04.044>
36. Eysenck, H. J. (1995). Problems with meta-analysis. In I. Chalmers & G. G. Altman (Eds.), *Systematic Reviews* (pp. 64–74). London: BMJ Publishing Group.
37. Fabel, K., & Kempermann, G. (2008). Physical activity and the regulation of neurogenesis in the adult and aging brain. *Neuromolecular Medicine*, 10(2), 59–66. <https://doi.org/10.1007/s12017-008-8031-4>
38. Fernandez-Ríos, L., & Buela-Casal, G. (2009). Standards for the preparation and writing of Psychology review articles. *International Journal of Clinical and Health Psychology*, 9(2), 329–344.
39. Fissler, P., Küster, O., Schlee, W., & Kolassa, I. T. (2013). Novelty interventions to enhance broad cognitive abilities and prevent dementia: synergistic approaches for the facilitation of positive plastic change. *In Progress in Brain Research*, 207, 403–434. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-63327-9.00017-5>
40. Garaigordobil, M., & Berruero, L. (2007). Efectos de un programa de intervención en niños de 5 a 6 años: evaluación del cambio proactivo en factores conductuales y cognitivos del desarrollo. *Summa Psicológica UST*, 4(2), 3–20.
41. Greene, C. M., Bahri, P., & Soto, D. (2010). Interplay between affect and arousal in recognition memory. *PLoS ONE*, e11739. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0011739>
42. Hasher, L., Lustig, C., & Zacks, R. (2008). Inhibitory Mechanisms and the Control of Attention. *Variation in Working Memory*. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780195168648.003.0009>
43. Herold, F., Hamacher, D., Schega, L., & Müller, N. G. (2018). Thinking while Moving or Moving while Thinking—Concepts of motor-cognitive training for cognitive performance enhancement. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 10, 228. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2018.00228>
- 44.*Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Khan, N. a., Raine, L. B., Scudder, M. R., ... Kamijo, K. (2014). Effects of the FIT-Kids Randomized Controlled Trial on Executive Control and Brain Function. *Pediatrics*, 134(4), e1063–e1071. <https://doi.org/doi:10.1542/peds.2013-3219>
- 45.*Hsieh, S. S., Chang, Y. K., Hung, T. M., & Fang, C. L. (2015). The effects of acute resistance exercise on young and older males' working memory. *Psychology of Sport and Exercise*, *In press*. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2015.09.004>
- 46.*Huertas, F., Zahonero, J., Sanabria, D., & Lupiáñez, J. (2011). Functioning of the attentional networks at rest vs. during acute bouts of aerobic exercise. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33(5), 649–665. <https://doi.org/10.1123/jsep.33.5.649>
- 47.*Ishihara, T., Sugawara, S., Matsuda, Y., & Mizuno, M. (2017). Relationship between sports experience and executive function in 6-12 year old children: independence from physical fitness and moderation by gender. *Developmental Science*, e12555. <https://doi.org/10.1111/desc.12555>
- 48.*Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & Roebbers, C. M. (2014). Cognitive and physiological effects of an acute physical activity intervention in elementary school children. *Frontiers in Psychology*, 18(5), 1473. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01473>
- 49.*Jäger, K., Schmidt, M., Conzelmann, A., & 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*. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2015.05.002>
- 50.*Kamijo, K., Pontifex, M. B., O'Leary, K. C., Scudder, M. R., Wu, C., Castell, D. M., & Hillman, C. H. (2011). The effects of an after-school physical activity program on working memory in preadolescent children. *Developmental Science*, 14(5), 1046–1058. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2011.01054.x>
51. Könen, T., & Karbach, J. (2015). The benefits of looking at intraindividual dynamics in cognitive training data. *Frontiers in Psychology*, 6. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.00615>
- 52.*Konishi, K., Kimura, T., Yuhaku, A., Kurihara, T., Fujimoto, M., Hamakoa, T., & Sanada, K. (2017). Effect of sustained high-intensity exercise on executive function. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 6(2), 111–117. <https://doi.org/10.7600/jpfsm.6.111>
- 53.*Kulinna, P. H., Stylianou, M., Dyson, B., Banville, D., Dryden, C., & Colby, R. (2018). The Effect of an Authentic Acute Physical Education Session of Dance on Elementary Students' Selective Attention. *BioMed Research International*, 2018. <https://doi.org/10.1155/2018/8790283>
- 54.*Kvalø, S. E., Bru, E., Brønnick, K., & Dyrstad, S. M. (2017). Does increased physical activity in school affect children's executive function and aerobic fitness? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*. <https://doi.org/10.1111/sms.12856>
55. Liang, J., Matheson, B. E., Kaye, W. H., & Boutelle, K. N. (2014). Neurocognitive correlates of obesity and obesity-related behaviors in children and adolescents. *International Journal of Obesity (2005)*, 38(4), 494–506. <https://doi.org/10.1038/ijo.2013.142>
- 56.*Lind, R. R., Geertsens, S. S., Ørntoft, C., Madsen, M., Larsen, M. N., Dvorak, J., & Krstrup, P. (2018). Improved cognitive performance in preadolescent Danish children after the school-based physical activity programme "FIFA 11 for Health" for Europe—A cluster-randomised controlled trial. *European Journal of Sport Science*, 18(1), 130–139. <https://doi.org/10.1080/17461391.2017.1394369>
- 57.*Loprinzi, P. D., & Kane, C. (2015). Exercise and cognitive function: a randomized controlled trial examining acute exercise and free-living physical activity and sedentary effects. *Mayo Clinic Proceedings*, 90(4), 450–460. <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2014.12.023>
- 58.*Ludyga, S., Gerber, M., Herrmann, C., Brand, S., & Pühse, U. (2018). Chronic effects of exercise implemented during school-break time on neurophysiological indices of inhibitory control in adolescents. *Trends in Neuroscience and Education*, 10, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2017.11.001>

- 59.*Ludyga, S., Gerber, M., Kamijo, K., Brand, S., & Pühse, U. (2018). The effects of a school-based exercise program on neurophysiological indices of working memory operations in adolescents. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(8), 833–838. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.01.001>
60. Lunt, L., Bramham, J., Morris, R. G., Bullock, P. R., Selway, R. P., Xenitidis, K., & David, A. S. (2012). Prefrontal cortex dysfunction and “Jumping to Conclusions”: Bias or deficit? *Journal of Neuropsychology*, 6(1), 65–78. <https://doi.org/10.1111/j.1748-6653.2011.02005.x>
61. Marín, F., Sánchez, J., & López, J. A. (2009). El metaanálisis en el ámbito de las Ciencias de la Salud: una metodología imprescindible para la eficiente acumulación del conocimiento. *Fisioterapia*. <https://doi.org/10.1016/j.ft.2009.02.002>
- 62.*Martín, I., Chiroso, L. J., Reigal, R. E., Hernández, A., Juárez, R., & Guisado, R. (2015). Efectos de la actividad física sobre las funciones ejecutivas en una muestra de adolescentes. *Anales de Psicología*, 31(3), 962–971.
- 63.*Martins, N., & Gotuzo, A. (2015). Is it possible to promote executive functions in preschoolers? A case study in Brazil. *International Journal of Child Care and Education Policy*, 9(6). <https://doi.org/10.1186/s40723-015-0010-2>
64. Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, a H., Howerter, A., & 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>
65. Moreau, D., & Conway, A. R. (2014). The case for an ecological approach to cognitive training. *Trends Cognitive ScienceSci*, 18, 334–336. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2014.03.009>
66. Noriaki, W., Hisaaki, T., Satoko, S., Toshiaki, W., Saiki, T., Keisuke, N., & Koji, T. (2016). Effectiveness of Two Types of Exercises before Classes on Inhibitory Function. *Journal Child Adolesc Behav*, 4, 284. <https://doi.org/10.4172/2375-4494.1000284>
- 67.*Pesce, C., Masci, I., Marchetti, R., Vazou, S., Säakslahiti, A., & Tomporowski, P. D. (2016). Deliberate Play and Preparation Jointly Benefit Motor and Cognitive Development: Mediated and Moderated Effects. *Frontiers in Psychology*, 7, 349. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00349>
68. Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B., Thompson, K. M., & Valentini, T. A. (2009). The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(4), 927–934. <https://doi.org/10.1249/mss.0b013e3181907d69>
- 69.*Ramos, I. A., Browne, R. A. V., da Silva Machado, D. G., Sales, M. M., dos Santos Pereira, R. M., & Grubert, C. S. (2017). Ten Minutes of Exercise Performed Above Lactate Threshold Improves Executive Control in Children. *Journal of Exercise Physiologyonline*, 20(2), 73–83.
70. Robinson, L. E., Palmer, K. K., & Bub, K. L. (2016). Effect of the children’s health activity motor program on motor skills and self-regulation in head start preschoolers: an efficacy trial. *Frontiers in Public Health*, 4. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2016.00173>
71. Rothstein, H. R., & Hopewell, S. (2009). Grey literature. In H. Cooper, L. V. Hedges, & J. C. Valentine (Eds.), *The handbook of research synthesis and meta-analysis* (2ª ed, pp. 103–125). Nueva York: Russell Sage Foundation.
72. Rueda, M. R., Conejero, Á., & Guerra, S. (2016). Educar la atención desde la neurociencia. Educating Attention from Neuroscience. *Revista de Investigación Educativa Latinoamericana*, 53(1), 1–16. <https://doi.org/10.7764/pel.53.1.2016.3>
73. Rueda, M. R., Posner, M. R., & Rothbart, M. K. (2005). The development of executive attention: contributions to the emergence of self-regulation. *Dev. Neuropsychol*, 28, 573–594. https://doi.org/doi:10.1207/s15326942dn2802_2
- 74.*Sánchez-López, M., Ruiz-Hermosa, A., Redondo-Tébar, A., Visier-Alfonso, M. E., Jimenez-López, E., Martínez-Andres, M., & Martínez-Vizcaino, V. (2019). Rationale and methods of the MOVI-da10! Study—a cluster-randomized controlled trial of the impact of classroom-based physical activity programs on children’s adiposity, cognition and motor competence. *BMC Public Health*, 19(1), 417. <https://doi.org/10.1186/s12889-019-6742-0>
75. Sanchez-Meca, J. (2010). Cómo realizar una revisión sistemática y un meta-análisis. *Aula Abierta*, 38, 53–63.
76. Sibley, B. A., & Beilock, S. L. (2007). Exercise and working memory: an individual differences investigation. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29(6), 783–791. <https://doi.org/10.1123/jsep.29.6.783>
- 77.*Smith, M., Tallis, J., Miller, A., Clarke, N. D., & Guimaraes-Ferreira, L. Duncan, M. J. (2016). The effect of exercise intensity on cognitive performance during short duration treadmill running. *Journal of Human Kinetics*, 50(2), 27–35. <https://doi.org/10.1515/hukin-2015-0167>
- 78.*Soga, K., Shishido, T., & Nagatomi, R. (2015). Executive function during and after acute moderate aerobic exercise in adolescents. *Psychology of Sport and Exercise*, 16, 7–17. <https://doi.org/10.1016/j.psychsport.2014.08.010>
- 79.*Stein, M., Auerswald, M., & Ebersbach, M. (2017). Relationships between Motor and Executive Functions and the Effect of an Acute Coordinative Intervention on Executive Functions in Kindergartners. *Frontiers in Psychology*, 8, 859. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00859>
- 80.*Tam, N. D. (2013). Improvement of processing speed in executive function immediately following an increase in cardiovascular activity. *Cardiovascular Psychiatry and Neurology*, 2013, 212767. <https://doi.org/10.1155/2013/212767>
81. Thomas, B. H., Ciliska, D., Dobbins, M., & Micucci, S. (2004). A process for systematically reviewing the literature: Providing the research evidence for public health nursing interventions. *Worldviews on Evidence-Based Nursing*, 1(3), 176–184. <https://doi.org/10.1111/j.1524-475x.2004.04006.x>
82. Tirapu-Ustárroz, J., Muñoz-Céspedes, J. M., & Pelegrín-Valero, C. (2002). Funciones ejecutivas: Necesidad de una integración conceptual. *Revista de Neurología*, 34(7), 673–685.
83. Tomporowski, P. D., Lambourne, K., & Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children’s mental function: An introduction and overview. *Preventive Medicine*, 52(SUPPL.). <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.01.028>
84. Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children’s cognition: the role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 47–55. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2014.09.003>
85. Urrútia, G., & Bonfill, X. (2010). Declaración PRISMA: una propuesta para mejorar la publicación de revisiones sistemáticas y metaanálisis. *Medicina Clínica*, 135(11), 507–511. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2010.01.015>
- 86.*van den Berg, V., Saliassi, E., de Groot, R. H., Jolles, J., Chinapaw, M. J., & Singh, A. S. (2016). Physical Activity in the School Setting: Cognitive Performance Is Not Affected by Three Different Types of Acute Exercise. *Frontiers in Psychology*, 7. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00723>. eCollection 2016.
- 87.*Wang, C. C., Chu, C. H., Chu, I. H., Chan, K. H., & Chang, Y. K. (2013). Executive function during acute exercise: the role of exercise intensity. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 35(4), 358–367. <https://doi.org/10.1123/jsep.35.4.358>
- 88.*Zach, S., & Eyal, S. (2016). The Influence of Acute Physical Activity on Working Memory. *Perceptual and Motor Skills*, 122(2), 365–374. <https://doi.org/10.1177/0031512516631066>