



UNIVERSIDAD DE JAÉN

**FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS DE
LA EDUCACIÓN**

**DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LA
EXPRESIÓN MUSICAL, PLÁSTICA Y CORPORAL**

TESIS DOCTORAL CON MENCIÓN INTERNACIONAL

•

**EFFECTOS DE PROGRAMAS ESCOLARES
DE ACTIVIDAD FÍSICA EN EL
RENDIMIENTO COGNITIVO DE
ADOLESCENTES**

**EFFECTS OF SCHOOL PHYSICAL ACTIVITY
PROGRAMS ON THE COGNITIVE
PERFORMANCE OF ADOLESCENTS**

**PRESENTADA POR:
ALBERTO MEZCUA HIDALGO**

**DIRIGIDA POR:
EMILIO J. MARTÍNEZ LÓPEZ
ALBERTO RUIZ ARIZA**

JAÉN, 2020

A mi familia, amigos y especialmente a mis compañeros.

No hubiese podido estar aquí sin la ayuda inestimable de todos
y cada uno de ellos.

“En todas las formas de entrenamiento, el punto más importante es librarse de los malos hábitos” (Jigoro Kano).

Desde que lo conocí hace unos años, el Judo me cautivó. La palabra judo significa camino de la flexibilidad. Esta flexibilidad es uno de los principios que rigen el judo. Se trata de un principio filosófico taoísta. Se emplea la analogía del sauce que ante la nevada deja escurrir la nieve doblando sus ramas en vez de negarse a ello y quebrarse. El principio se puede definir como ceder para vencer. Ante una fuerza superior, dejar pasar, ceder y unirse a ella. Jigoro Kano lo explica como aunar nuestra fuerza con la del otro para aprovechar su fuerza en nuestro ataque. Podría definirse como principio de cesión y adhesión a la fuerza del otro.

Gracias a todos por dejarme aprovechar vuestra fuerza.



*DEPARTAMENTO DE DIDÁCTICA DE LA
EXPRESIÓN MUSICAL, PLÁSTICA Y CORPORAL*

*FACULTAD DE HUMANIDADES Y CIENCIAS DE
LA EDUCACIÓN*

EFFECTOS DE PROGRAMAS ESCOLARES DE ACTIVIDAD FÍSICA EN EL RENDIMIENTO COGNITIVO DE ADOLESCENTES

EFFECTS OF SCHOOL PHYSICAL ACTIVITY PROGRAMS ON THE COGNITIVE PERFORMANCE OF ADOLESCENTS

Alberto Mezcua Hidalgo

Directores de Tesis

Dr. Emilio J. Martínez López

PhD

Profesor Titular de la Universidad de Jaén

Dr. Alberto Ruiz Ariza

PhD

Profesor Sustituto Interino de la Universidad de Jaén



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Prof. Dr. Emilio J. Martínez López

Profesor Titular de Universidad

Dpto. Didáctica de la Expresión Musical,

Plástica y Corporal

Facultad de Humanidades y CC. Educación

Universidad de Jaén

EMILIO J. MARTÍNEZ LÓPEZ, PROFESOR TITULAR DE LA UNIVERSIDAD DE JAÉN

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral con mención internacional titulada “*Efectos de programas escolares de actividad física en el rendimiento cognitivo de adolescentes*” que presenta D. ALBERTO MEZCUA HIDALGO al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Jaén, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2016-2020, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedora del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

En Jaén, a 16 de febrero de 2020

Fdo.: Emilio J. Martínez López



UNIVERSIDAD DE JAÉN

Prof. Dr. Alberto Ruiz Ariza

Profesor Sustituto Interino de Universidad

Dpto. Didáctica de la Expresión Musical,

Plástica y Corporal

Facultad de Humanidades y CC. Educación

Universidad de Jaén

ALBERTO RUIZ ARIZA, PROFESOR SUSTITUTO INTERINO DE LA
UNIVERSIDAD DE JAÉN

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral con mención internacional titulada “*Efectos de programas escolares de actividad física en el rendimiento cognitivo de adolescentes*” que presenta D. ALBERTO MEZCUA HIDALGO al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Jaén, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2019-2020, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedora del Título de Doctor, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

En Jaén, a 16 de febrero de 2020

Fdo.: Alberto Ruiz Ariza

ÍNDICE DE CONTENIDOS (INDEX OF CONTENTS)

<u>CONTENT</u>	<u>PAGES</u>
Becas y Estancias de Investigación [Research grants and research stays].....	13
Publicaciones [Publications].....	15
Resumen.....	17-18
Summary.....	19-20
Introducción.....	21-29
Introduction.....	31-40
Referencias bibliográficas [References].....	41-48
Objetivos.....	49
Aims.....	51
Material y Métodos.....	53-56
Material and Methods.....	57-60
Resultados y Discusión.....	61-64
Results and Discussion.....	65-68
Relación de papers presentados en la tesis doctoral	
1. Paper I: Cualidades físicas y su relación con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes	69-77
2. Paper II: Influencia de programas de entrenamiento de alta intensidad en el rendimiento cognitivo y académico de adolescentes: una revisión sistemática desde 2005-2019.....	79-94
3. Paper III: 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning	95-117
4. Paper IV: Efecto agudo de los descansos físicamente activos en la memoria, atención, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en Educación Secundaria	119-144
5. Paper V: Efecto de los descansos activos entre clases en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad de los adolescentes.....	145-171

Limitaciones y fortalezas.....	173
Limitations and strengths.....	175
Conclusiones.....	177
Conclusions.....	179
Aplicaciones prácticas y prospectivas futuras de estudio.....	181
Practical applications and prospects for future research.....	183
Currículum Vitae resumido [Short CV].....	185-186
Agradecimientos [Acknowledgements].....	187-190

BECAS Y ESTANCIAS DE INVESTIGACIÓN

[RESEARCH GRANTS AND RESEARCH STAYS]

Durante el desarrollo de la presente Tesis Doctoral se han obtenido una serie de ayudas, becas y estancias de investigación que se detallan a continuación:

1. Contrato de investigación con cargo al proyecto de I+D+I “Influencia de las relaciones parentales sobre la actividad física, obesidad juvenil, calidad de vida y rendimiento académico en adolescentes de Andalucía” (Ref. UJA2013/08/29 2014/00041/001)

Código del contrato: 2014/CL081 2014/00274

Duración del contrato: 01/12/2014 - 28/02/2015

Supervisor: Emilio J. Martínez López

2. Ayudas de la EDUJA para estancias destinadas a mejorar la cualificación del alumnado de Doctorado de la Universidad de Jaén (Tesis con Mención Internacional).

Fecha: 15/09/2018 – 15/12/2018

Entidad: Universidad de Jaén

3. Estancia de Investigación en el Instituto Politécnico de Beja, Escola Superior de Educação (Beja, Portugal)

Fecha: 15/09/2018-15/12/2018

Entidad financiadora: Escuela de Doctorado de la Universidad de Jaén

PUBLICACIONES [PUBLICATIONS]

La presente memoria de Tesis Doctoral está compuesta por los siguientes artículos científicos:

- I. **Mezcua-Hidalgo, A.**, Ruiz-Ariza, A., Ferreira Brandão de Loureiro, V.A., & Martínez-López, E.J. (2020). Cualidades físicas y su relación con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes. *Retos*, 37, 473-479.
- II. **Mezcua-Hidalgo, A.**, Martínez-López, E.J., López-Serrano, S., & Ruiz-Ariza, A., (2020). Influencia de programas de entrenamiento de alta intensidad en el rendimiento cognitivo y académico de adolescentes: una revisión sistemática desde 2005-2019. *EmásF. Revista Digital de Educación Física* (under review).
- III. **Mezcua-Hidalgo, A.**, Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E.J. (2019). 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning. *Perceptual and Motor Skills*, 126 (2), 202-222.
- IV. **Mezcua-Hidalgo, A.**, Martínez-López, E.J., López-Serrano, S., & Ruiz-Ariza, A. (2020). Efecto agudo de los descansos físicamente activos en la memoria, atención, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en Educación Secundaria. (*submitted*).
- V. **Mezcua-Hidalgo, A.**, Ruiz-Ariza, A., De la Torre-Cruz, M.J., & Martínez-López, E.J. (2020). Efecto de los descansos activos entre clases en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad de los adolescentes. (*submitted*).

RESUMEN

Es muy conocido que la actividad física es necesaria para llevar a cabo una vida saludable. Una amplia bibliografía científica de los últimos años muestra los múltiples beneficios en la salud física, social y psicológica. Sin embargo, los estudios centrados en la relación entre actividad física y variables cognitivas, así como intervenciones escolares con el objetivo de emplear la actividad física para mejorar aspectos relacionados con la cognición de los escolares, son aún escasos.

El objetivo general de la presente Tesis Doctoral ha sido analizar la relación de variables de condición física con variables cognitivas en adolescentes, así como el efecto de diferentes programas de actividad física durante la jornada escolar (entrenamiento de alta intensidad interválica y cooperativo [C-HIIT] y descansos activos) sobre variables de rendimiento cognitivo.

Para satisfacer este objetivo general, se requirieron una serie de estudios de asociación, de revisión sistemática y de intervención en jóvenes estudiantes de Educación Secundaria, que finalmente se tradujeron en cinco artículos sobre: *Relación entre condición física y variables cognitivas (paper I)*, *Revisión sistemática sobre programas escolares de HIIT y C-HIIT y su efecto sobre el rendimiento escolar (paper II)*; *Efectos inmediatos de C-HIIT al inicio de la jornada escolar sobre el rendimiento cognitivo (paper III)*, *Efecto a corto y largo plazo de los descansos activos sobre el rendimiento cognitivo (papers IV y V)*. Además, se han realizado diversas comunicaciones, contrastando los trabajos anteriores, en congresos internacionales, tanto en España como en Portugal.

Los principales resultados de la Tesis sugieren que:

- a) La capacidad cardiorrespiratoria es la variable de condición física que se asocia en mayor medida con variables de rendimiento cognitivo como la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad, independientemente de la edad, sexo e índice de masa corporal de los jóvenes.
- b) La revisión sistemática mostró que programas de HIIT y C-HIIT puede favorecer el rendimiento escolar en jóvenes.

c) Empezar la jornada escolar con C-HIIT puede ser clave para aumentar de forma significativa la atención y concentración durante las 2 horas siguientes.

d) La intervención basada en un descanso activo de 4' controlado con pulsometría (Grupo control = descanso habitual sin poder salir de la clase, grupo experimental 1= caminata baja intensidad, y grupo experimental 2 = actividades a alta intensidad), entre la segunda y la tercera clase (10.00h), mostró que ambos descansos activos (baja y alta intensidad) mejoran la memoria. El descanso activo de baja intensidad presenta un efecto de mejora del 21 y 25% en la atención y concentración. El de alta intensidad mejora un 14.7% la atención. Se observan mejoras en el cálculo matemático tras ambos descansos activos pero las mejoras no llegan a ser significativas.

e) La intervención de 8 semanas basada en cuatro descansos activos diarios de 4' a moderada-alta intensidad controlada con pulsometría, produjo mejoras de un 11.7%, un 10.9% y un 13.13% en la atención, concentración y cálculo matemático en jóvenes estudiantes de educación secundaria.

En definitiva, los resultados de la presente Tesis Doctoral, muestran la importancia de mejorar la condición física, sobre todo la cardiorrespiratoria, así como incentivar la práctica de actividad física en contexto escolar, como por ejemplo a través de programas C-HIIT al inicio de la jornada escolar o a través de los descansos activos entre asignaturas, con el objetivo de afectar positivamente al rendimiento cognitivo durante la adolescencia.

SUMMARY

It is well known that physical activity is necessary to carry out a healthy life. An extensive scientific literature of recent years shows the multiple benefits in physical, social and psychological health. However, studies focusing on the relationship between physical activity and cognitive variables, as well as school interventions with the aim of using physical activity to improve aspects related to schoolchildren's cognition, are still scarce.

The general aim of this Doctoral Thesis has been to analyze the relationship of physical fitness with cognitive variables in adolescents, as well as to know the effect of different physical activity programs during the school day (high intensity interval and cooperative training [C-HIIT], and active breaks), on cognitive performance variables.

To achieve this general aim, a serie of studies of systematic review, association and intervention in young secondary school students were required, which ultimately resulted in five papers on: *Relationship between physical condition and cognitive variables* (**paper I**); *Systematic review of HIIT and C-HIIT programs and their effect on school performance* (**paper II**); *Acute effects of C-HIIT at the beginning of the school day on cognitive performance* (**paper III**), *Short and long-term effect of active breaks on cognitive performance* (**papers IV and paper V**). In addition, various presentations have been carried out in international congresses, in Spain and Portugal.

The main results of the Thesis suggest that:

- a) Cardiorespiratory fitness is the physical fitness variable that is mostly associated with academic variables such as memory, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity, regardless of the age, sex and body mass index of young people.
- b) The systematic review showed that HIIT and C-HIIT programs can favor school performance in young people.
- c) Starting the school day with C-HIIT can be key to significantly increase attention and concentration during the next 2 hours.

d) The intervention based on a 4 minutes of active break controlled with pulsometry (Control group = usual break, experimental group 1 = walking at low intensity, and experimental group 2 = activities at high intensity), between the second and third class (10.00h), showed that both active breaks (low and high intensity) improved memory. The low intensity active rest has an improvement effect of 21 and 25% in attention and concentration. The high intensity improves attention 14.7%. Improvements in the mathematical calculation are observed after both active breaks, but the improvements do not become significant.

e) The 8-week intervention based on four daily active breaks of 4 minutes at moderate-high intensity controlled with pulsometry (at 9.00 a.m., 10.00 a.m., 12.30 p.m. and 1.30 p.m.), produced improvements in 11.7%, 10.9% and 13.13% in attention, concentration and mathematical calculation in young secondary school students.

In short, the results of this Doctoral Thesis show the importance of improving physical fitness, especially cardiorespiratory fitness, as well as encouraging the practice of physical activity in a school context, such as through C-HIIT programs at the beginning of the school day or through active breaks between subjects, with the aim of positively affecting cognitive performance during adolescence.

INTRODUCCIÓN

Condición física y su relación con variables cognitivas en adolescentes

La condición física hace referencia a un conjunto de capacidades que engloban la resistencia cardiorrespiratoria, la fuerza muscular, la velocidad y la flexibilidad (Castro-Piñero et al., 2010). El nivel de condición física en adolescentes, se puede evaluar en las clases de Educación Física (EF) con la batería de test relacionados con la salud ALPHA-Fitness (Ruiz et al., 2011). En jóvenes, los efectos en la salud de una adecuada condición física están muy contrastados (Ekelund et al., 2020; Kujala, 2018) y es ampliamente aceptado que una mejor condición física mejora el sistema muscular y esquelético reduce el riesgo de enfermedades cardíacas (Ortega, Ruiz, Castillo & Sjöström, 2008) y disminuye el riesgo de mortalidad temprana por cualquier causa (Ortega, Silventoinen, Tynelius & Rasmussen, 2012). Sin embargo, la relación respecto a las múltiples variables cognitivas existentes no está del todo contrastada (Ruiz-Ariza et al., 2017). La adolescencia es una etapa crítica para el rendimiento cognitivo (RC) y un alto nivel en esas edades puede ser un importante predictor de salud en la edad adulta (Esteban-Cornejo et al., 2015). Entre las variables más destacadas en el ámbito educativo se encuentra la memoria, la atención-concentración, el cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad.

Para evaluar la memoria de los estudiantes en los diferentes estudios de esta tesis doctoral se empleó una prueba *ad hoc* de un minuto, basada en otras ideas originales (Tombaugh, 1996; Wechsler, 1945) y en la Escala de Evaluación Intelectual de Reynolds (RIAS; Santamaría-Fernández & Fernández-Pinto, 2013). Para la administración de esta prueba, proyectamos un póster con 15 cartas de la baraja española seleccionadas al azar, durante 20 segundos en una pantalla de 3 x 2 metros. Inmediatamente después, los participantes tuvieron 40 segundos para escribir en una hoja de papel estandarizada tantas cartas como pudieron recordar. Se contabilizó el número total de respuestas correctas (rango 0-15) obtenidas por cada participante. Antes de la prueba, verificamos que todos los participantes conocían la estructura y el contenido de las 40 cartas de la baraja española. Esta prueba de memoria se ha utilizado previamente en otras investigaciones con adolescentes, con una buena fiabilidad test-retest de 0.919 (Ruiz-Ariza, Casuso, Suárez-Manzano & Martínez-López, 2018).

La atención selectiva y la concentración se evaluaron con la prueba d2 de Brickenkamp, en la versión en español (Seisdedos, 2012). Los participantes disponían de un corto tiempo para completar el test (20 segundos para cada fila). Esta prueba evalúa la velocidad de percepción visual y las capacidades de concentración, evaluando la capacidad de un individuo para enfocarse selectiva de manera rápida y precisa en ciertos aspectos relevantes de una tarea, mientras ignora otros aspectos irrelevantes. La administración completa de esta prueba de papel y lápiz es de cuatro minutos y 40 segundos. Calculamos la puntuación de atención selectiva utilizando la siguiente fórmula: [número de elementos procesados - (omisiones + errores)]. Además, calculamos la concentración calculando el número de elementos correctos - número de errores. Esta prueba se ha utilizado previamente en otras investigaciones recientes, con una buena fiabilidad test-retest de 0.911 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Para la evaluación del cálculo matemático se empleó un test *ad hoc* en base a los estudios de Jastak y Wilkinson (1993) y Passolunghi y Siegel (2004). Con esta prueba, se pretendió comprobar la capacidad de procesamiento, velocidad y resolución de operaciones matemáticas. Este test consistía en la presentación de varias columnas de operaciones matemáticas sencillas basadas en sumas y restas con 6 dígitos (por ejemplo, $8 - 6 + 5 + 8 - 6 = 9$). Para realizar la prueba se disponía de un minuto en el cual se debía de resolver el mayor número posible de operaciones. Para evaluar dicha prueba, se cuenta el número de aciertos del total de las operaciones realizadas. Estudios previos muestran una fiabilidad test-retest de 0.887 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

La velocidad de razonamiento lingüístico se midió mediante un test *ad hoc* basado en el estudio de Lervåg y Aukrust (2010) y en el Neale Analysis of Reading Ability [NARA test] (<https://www.glassessment.co.uk/products/neale-analysis-of-reading-ability-nara/>). El objetivo de esta prueba fue analizar la velocidad lectora y comprensión semántica del alumnado. Ésta prueba consistió en la presentación de 30 filas de 4 palabras cada una establecidas de forma aleatoria. De estas palabras, 3 eran pertenecientes al mismo campo semántico mientras la cuarta palabra no presentaba relación alguna con las otras. Los alumnos que realizaban la prueba debían tachar, durante el periodo de un minuto, el mayor número posible de palabras “intrusas” o que no presentaban relación con las demás. La forma de evaluación del test consistió en la suma de las palabras seleccionadas de forma correcta. Estudios previos muestran una fiabilidad test-retest de 0.841 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Otra variable cognitiva importante es la creatividad, clave para el éxito académico, personal y laboral (Heilman, 2016). La creatividad se ha definido como la capacidad para inventar un producto de valor nuevo y original (Steinberg, Sykes, Moss, Lowery, LeBoutillier & Dewey, 1997) y según Heilman, distingue tres etapas: (1) preparación, en la que una persona adquiere el conocimiento y habilidades necesarias para descubrir, desarrollar y producir un producto creativo; (2) innovación, en la que una persona busca inconscientemente una respuesta, la descubre y la unifica; y (3) verificación, que abarca el resultado final. Para evaluar esta variable se utilizó la prueba de inteligencia creativa (CREA) creada por Corbalán-Berná et al. (2010). Esta prueba de pensamiento divergente está dirigida a generar preguntas como indicador de talento creativo, originalidad y efectividad. Estas preguntas se llevan a cabo con un estímulo y un tiempo determinados, donde cada uno de ellos debe respaldarse en un nuevo esquema cognitivo que, a su vez, depende de al menos otros dos. A partir de una imagen, los participantes tienen que elaborar tantas preguntas como sea posible durante 4 minutos. Se asignó una puntuación a cada pregunta (puntuaciones posibles: 1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto) según su calidad y complejidad. La prueba CREA permite una mejor gestión de los esquemas cognitivos ya que no contempla la pregunta como producto final. La validez predictiva y concurrente de CREA fue alta en comparación con otras baterías creativas como Guilford ($p < .005$).

Para algunos investigadores, un mejor nivel de condición física podría optimizar las funciones cognitivas y promover un incremento del rendimiento cerebral (Chaddock-Heyman et al., 2014; Huang et al., 2015; Ruiz-Ariza et al., 2019; Tomporowski, McCullick, Pendleton & Pesce, 2015). Capacidades como la resistencia cardiorrespiratoria y fuerza muscular parece que influyen positivamente en el rendimiento cognitivo de jóvenes adolescentes y en menor medida la velocidad y la flexibilidad (Ruiz et al., 2010). Por ejemplo, en un estudio longitudinal en el que participaron más de un millón de suecos, Åberg et al. (2009), demostraron que la condición física cardiorrespiratoria adquirida entre los 15 y los 18 años, predecía la capacidad intelectual a los 18 años de edad, medida con una serie de pruebas de lógica, verbales, visuoespaciales y de inteligencia técnica. Otro estudio de intervención también mostró efectos positivos sobre el RC tras 20 minutos de ejercicio aeróbico moderado (Hogan et al., 2013). Por tanto, el nivel de condición física podría optimizar las funciones ejecutivas y promover un incremento del riego sanguíneo cerebral y de la plasticidad sináptica, entre otras adaptaciones neuronales que son clave para el aprendizaje

(Tomprowski, McCullick, Pendleton & Pesce, 2015). Sin embargo, los resultados no son concluyentes y aún se tiene poca información sobre la posible influencia directa en las variables anteriormente citadas, como la memoria, atención-concentración, el cálculo matemático, el razonamiento lingüístico y la creatividad, todas ellas consideradas variables clave para el desarrollo académico de los adolescentes (Huang et al., 2015; Martínez-López et al., 2018; Ruiz-Ariza et al., 2019). Por tanto, se necesitan más estudios analizando esta relación (**Paper I y II**).

Empleo del método C-HIIT al inicio de la jornada escolar: Una idea para mejorar el rendimiento cognitivo

Recientemente, varias revisiones sistemáticas han encontrado una relación positiva entre la AF diaria y el RC en jóvenes (Ruiz-Ariza et al., 2017; Li et al., 2017). Dos metaanálisis mostraron efectos agudos positivos de la AF en el RC (Chang, Labban, Gapin & Etnier, 2012; Verburgh, Königs, Scherder & Oosterlaan, 2014). Los episodios agudos de AF en investigaciones previas han consistido en 20 y 13 minutos de ejercicio aeróbico moderado (Stroth et al., 2009; Hogan et al., 2013), ambos realizados al 60% de VO₂max. En este mismo contexto, otro estudio mostró beneficios significativos de 10 minutos de ejercicio agudo sobre la memoria (Cooper, Bandelow, Nute, Morris & Nevill, 2012). Otro trabajo mostró que un estímulo agudo de 12 minutos de carrera al 70–80% de la frecuencia cardíaca máxima (FC_{máx}) mejoró la atención selectiva de los niños (Tine & Butler, 2012). Finalmente, otro mostró que los preadolescentes que realizaron dos estímulos de AF de 20 minutos de intensidad moderada tuvieron puntuaciones de atención selectiva significativamente mejores en comparación con sus homólogos que realizaron solo un estímulo de AF o que permanecieron sentados toda la mañana (Altenburg, Chinapaw y Singh, 2016). Por lo tanto, existe un importante apoyo de que la intensidad del ejercicio agudo para afectar positivamente al RC debe ser al menos de $\approx$ 60% FC_{máx}.

La mayoría de los estudios basados en ejercicio agudo han mostrado efectos a corto plazo (inmediatamente después del estímulo o en las horas inmediatamente posteriores) y se han centrado en el ejercicio de intensidad moderada (65-90% HR_{máx}), que incluye una amplia gama de ejercicios y duraciones (10–45 minutos) durante el horario escolar. Hasta la fecha, escasos estudios han abordado el estímulo óptimo (Ej., Aeróbico, coordinativo,

muscular, etc.) o la duración del ejercicio que en mayor medida podría mejorar el RC (Altenburg et al., 2016; Follador et al., 2018).

El entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT) combina períodos intensos de AF a intensidad vigorosa (por ejemplo, de ≤ 45 segundos a 2–4 minutos a $>85\%$ de FC_{máx}) con breves períodos de descanso pasivo entre los estímulos de alta intensidad. Se ha demostrado que el HIIT maximiza los efectos del ejercicio en el tiempo tan limitado disponible por los jóvenes para practicar AF (Costigan, Eather, Plotnikoff, Hillman & Lubans, 2016). Los beneficios del HIIT para la salud son ampliamente conocidos en todas las edades, incluido en la adolescencia (Costigan, Eather, Plotnikoff, Taaffe & Lubans, 2015; Logan, Harris, Duncan & Schofield, 2014). A nivel fisiológico, el trabajo continuo de HIIT aumenta el esfuerzo autopercebido de los participantes, frecuencia cardíaca, lactato sanguíneo, aptitud cardiorrespiratoria (medida por el pico de VO_2), adaptaciones mitocondriales musculares, presión arterial, disnea, capacidad de transporte de glucosa, sensibilidad a la insulina y control glucémico, mayor disponibilidad de óxido nítrico, mejor metabolismo de los lípidos y mayor PGC-1 α , que afecta la capacidad oxidativa, la defensa antioxidante y la resistencia a la sarcopenia relacionada con la edad (Nicolo & Girardi, 2016). Sin embargo, aunque el HIIT ha sido ampliamente estudiado entre los jóvenes deportistas [i.e. jugadores de fútbol o atletas] (Engel, Ackermann, Chtourou & Sperlich, 2018; Faude, Schnitker, Schulte-Zurhausen, Müller & Meyer, 2013), pocos estudios han incorporado HIIT en la el Centro educativo y enfocado para adolescentes. En estudios que demostraron un impacto positivo y duradero del HIIT sobre el RC en adolescentes, la duración del programa fue de 8 a 10 minutos, con una relación trabajo-descanso de 30:30 segundos, tres sesiones/semana, durante ocho semanas (Costigan et al., 2016). Muy pocos trabajos han usado el control de la intensidad en tiempo real, a través de pulsometría monitorizada y centralizada, para controlar la frecuencia cardíaca durante el ejercicio de alta intensidad. Del mismo modo, pocos estudios han incorporado el aspecto cooperativo dentro del programa HIIT (Costigan et al., 2016; Logan et al., 2014; Marker & Staiano, 2015; Ruiz-Ariza, Suárez-Manzano, López-Serrano, Martínez-López, 2017b).

En base a lo anterior, Martínez-López et al. (2018) y Ruiz-Ariza et al. (2019), acuñaron el término de C-HIIT (de las siglas en inglés: “Cooperative-High intensity interval training). El ejercicio cooperativo también promueve el juego continuo, la autoeficacia y el comportamiento social positivo (Marker & Staiano, 2015; Ruiz-Ariza et al., 2019). Por lo

tanto, el C-HIIT es una estrategia novedosa para potenciar los beneficios de la AF en entornos educativos. Los estudios de Martínez-López et al. (2018) y Ruiz-Ariza et al. (2019), mostraron como 12 semanas de C-HIIT (16 minutos al comienzo de las clases de EF, dos días a la semana) tuvo efectos positivos en la atención-concentración, cálculo matemático, bienestar, sociabilidad y en la creatividad de los adolescentes, posiblemente debido al contexto cooperativo lúdico y la interacción social entre los compañeros (Ruiz-Ariza et al., 2019). A pesar de estos hallazgos y los de estudios anteriores, todavía no se ha demostrado empíricamente la evidencia de los beneficios del C-HIIT en el RC de los adolescentes durante la jornada escolar; y, aunque la mayoría de los estudios midieron el efecto inmediato de la AF sobre el RC (p. ej., de 1 a 3 horas), los estudios anteriores no midieron los efectos prolongados durante el período posterior de 24 a 48 horas. Por tanto, resulta de interés llevar a cabo una intervención, comenzando la jornada escolar con el estímulo C-HIIT y analizando mediante medidas repetidas su efecto sobre el RC en las siguientes horas (**Paper III**).

Descansos activos y rendimiento cognitivo

Las dos horas semanales de EF es prácticamente el único estímulo normalizado en el que el alumnado practica AF de forma intencionada en el contexto escolar, siendo en muchas ocasiones tan solo una media de entre 10-20 minutos los dedicados a AF de intensidad moderada-vigorosa (Gibson et al., 2008). Con el objetivo de aumentar la práctica de AF en el contexto educativo, es cada vez más popular la inclusión de estímulos como los descansos activos, que consisten en aprovechar las pausas entre clases para realizar algún tipo de AF de moderada-vigorosa intensidad, durante un periodo que puede oscilar entre 2 y 15 minutos (Janssen et al., 2014; Kahn et al., 2002; Ma et al., 2014).

Un programa de descansos activos muy destacado a nivel internacional es el conocido como *TAKE10!* (<https://take10.net/>). Este programa combina la instrucción académica con pausas de AF de 10 minutos. Este programa ha sido implantado en varios países demostrando incrementos en la cantidad de AF diaria, disminución del sedentarismo (Ribeiro y Alves, 2014), reducción del peso corporal (Donnelly et al., 2009), mejoras a nivel cognitivo (atención, concentración, memoria) y mejoras en el rendimiento académico (Donnelly & Lambourne, 2011; Rasberry et al., 2011; Howie & Pate, 2012). Sin embargo, Wilson et al. (2016) al evaluar el efecto a medio-largo plazo de realizar

10min de descansos activos (3-4 semanas, 3-5 días/semana) no obtuvieron diferencias en atención. Por otro lado, Howie et al, (2014) al comparar el efecto inmediato de 5, 10 y 20 min de descansos activos tampoco obtuvieron diferencias en el grupo de 20 min, sí obtuvieron diferencias significativas en la condición 10 min y la condición de 5 min resultó positiva solo para chicas. Grieco et al. (2016), analizaron en niños de 7-12 años el efecto de realizar AF moderada, vigorosa, o juegos sedentarios durante 10-15min dentro de la jornada escolar. El grupo control empeoró los resultados en variables como la memoria o la atención, el grupo que hizo juegos sedentarios no obtuvo diferencias y los grupos de AF moderada y vigorosa obtuvieron mejoras significativas respecto a los demás. Coe et al. (2006), analizaron el efecto de la intensidad en jóvenes de 10-11 años y observaron que el grupo de intensidad moderada no reflejó cambios, mientras que el grupo que trabajó a intensidad vigorosa sí obtuvo mejoras significativas frente al grupo control.

Los efectos positivos de los descansos activos en el comportamiento son consistentes (Carlson et al., 2015; Whitt-Glover, Ham & Yancey, 2011). Watson et al. (2019) implementaron el programa “Acti-Break”, basado en 5 minutos de descansos activos a intensidad moderada, tres veces al día, durante 6 semanas. Las actividades incorporaron gran variedad de juegos. Por ejemplo: Los estudiantes se mueven alrededor del aula con juegos musicales. Cuando la música se detiene, el maestro grita una parte del cuerpo y los estudiantes regresan a su silla y colocan la parte del cuerpo seleccionada en su silla. La música comienza de nuevo y el juego continúa. Los resultados mostraron que estos descansos activos mejoraron el comportamiento en la clase, sobre todo en chicos. Esto sugiere que los descansos activos pueden afectar el comportamiento del aula de manera diferente para diferentes estudiantes.

En España también se están implantando programas de descansos activos con el programa *DAME10* a través del Ministerio (Abad 2014). Se trata de un modelo que parte del anteriormente citado *TAKE10!* y que está disponible para su uso desde finales de 2014. Las actividades del programa van dirigidas al alumnado de 2º ciclo de Educación Infantil, a toda la etapa de Educación Primaria y a primer y segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Solís (2019) implementó este programa en alumnado de primer curso de ESO, y entre los resultados obtuvo que la AF de los participantes aumentó un 50% durante el horario escolar, el 75,8% se concebía más activos, un 58,5% se sentían más motivados y el 51% mostraba mejor actitud tras las

actividades. Entre el profesorado involucrado, el 87,5% consideró positiva la implementación diaria de este programa de descansos activos.

En línea con lo anterior, Mullins et al. (2019) han mostrado que los alumnos participantes en los *Programas de Descansos Activos en Clase* (CPAB siglas en inglés) manifestaron que les pareció muy divertidos (86%), les proporcionaron un adecuado periodo de descanso durante el día escolar (88%), fueron muy buenos para su salud (94%) y les ayudaron a sentirse más preparados para aprender (71%) y aprender mejor (50%). La totalidad de los profesores informaron que sintieron que sus alumnos realmente disfrutaron de los CPAB, que alentar a los estudiantes a estar físicamente activos era muy importante (83%) y que sentían mucha confianza en que ellos mismos podrían liderar los CPAB (72%). Por otro lado, Aguilar et al. (2018) realizaron un programa de descansos activos llamado “*Móvetel5*” con alumnos de entre 7-12 años durante 15 minutos en el intercambio entre las dos primeras horas del horario escolar con una intensidad media-alta. Los resultados mostraron que un 71,1% de los alumnos redujeron su grasa corporal con una disminución del -1,33%. La velocidad-coordinación de los alumnos mejoró en un 69,63% y la resistencia en un 62,22%. En otro estudio llevado a cabo por Pastor-Vicedo et al. (2019) sobre descansos activos en niños de educación infantil, se muestra como el aumento de AF con estos programas cortos, se relaciona con una mejora del RC.

En la última revisión sistemática con meta-análisis llevada a cabo por Masini et al. (2019), se muestra como los efectos de los descansos activos sobre variables cognitivas no son aún concluyentes. Una posible explicación de la controversia existente puede estar relacionada con la variabilidad en las medidas utilizadas en los estudios. Otra posible explicación puede estar relacionada con la duración y el tipo (con o sin compromiso cognitivo) de las intervenciones. Quizás para obtener mejores beneficios habría que incluir AF cognitivamente atractiva, ya que al parecer puede ser más beneficiosa para las funciones cognitivas que realizar simplemente AF aeróbica (Schmidt et al., 2015). Por otro lado, Watson et al. (2017) encontró que las intervenciones de AF en el aula condujeron a mejoras cuando se usó herramientas de monitoreo. De ahí, consideramos muy importante el empleo de pulsometría inalámbrica para controlar la FC durante el estímulo de descansos activos.

Con respecto a las variables cognitivas, una revisión sistemática llevada a cabo por Suárez-Manzano, Ruiz-Ariza, López-Serrano y Martínez López (2018), analizó nueve estudios con intervención basados en descansos activos y que estudiaron su relación con respecto a la atención de los jóvenes. Estos autores mostraron que todos los estudios emplearon ejercicio físico a intensidad moderada-vigorosa de una duración entre 5-30 min. En siete estudios obtuvieron mejoras y en dos no obtuvieron cambios. Finalmente, se observó la influencia de la duración e intensidad de la intervención habiendo controversia entre los diferentes estudios. La mayoría de los estudios son de carácter crónico con varias sesiones de estímulo. Entre los escasos trabajos que analizan el efecto agudo, Altenburg et al. (2016), examinaron el efecto de 1 ó 2 descansos activos de 20min de duración al 40-60% de la frecuencia cardiaca máxima, durante 1 jornada escolar, en niños de 10-13 años de los Países Bajos. Los participantes que realizaron 2 descansos activos, tuvieron puntuaciones significativamente mejores en comparación con los niños que realizaron 1 descanso o los que permanecieron sentados toda la mañana.

Muchos de los estudios recientes apuestan por cuñas activas de 10–15 min (Watson et al., 2017). Sin embargo, los docentes indican que prefieren pausas activas breves (≤ 5 min) (Howie, Newman-Norlund & Pate, 2014). Si bien se ha demostrado que los descansos activos de al menos 10 minutos son efectivos para mejorar los resultados académicos, pocos estudios han investigado el efecto de los programas de descansos activos más cortos (Ma, Le Mare & Gurd, 2015; Howie, Schatz & Pate, 2015). Mientras que los descansos activos de intensidad moderada-vigorosa de 5 minutos (por ejemplo, marcha, saltar y correr) no bastaron para mejorar los resultados académicos (Howie, Beets & Pate, 2015; Howie, Schatz & Pate, 2015), otros autores sugirieron usar descansos de intensidad vigorosa de 4 minutos (por ejemplo, saltos) para afectar positivamente y de forma aguda sobre variables cognitivas como la atención (Ma, Le Mare & Gurd, 2015 y 2014). Sin embargo, poco se conoce el efecto de este tipo de estímulos. De este modo, nuestras intervenciones han pretendido conocer el efecto tanto agudo como crónico de los descansos activos en variables cognitivas como la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico o creatividad en adolescentes (**paper IV y V**).

INTRODUCTION

Physical fitness and its relationship with cognitive variables in adolescents

Physical fitness refers to a set of abilities that include cardiorespiratory resistance, muscle strength, speed or flexibility (Castro-Piñero et al., 2010). The level of physical fitness in adolescents can be evaluated in Physical Education (PE) classes with the battery of health-related tests ALPHA-Fitness (Ruiz et al., 2011). In young people, the health effects of an adequate physical fitness are very contrasted (Ekelund et al., 2020; Kujala, 2018), and it is widely accepted that a better physical fitness improves the muscular and skeletal system, reduces the risk of heart disease (Ortega, Ruiz, Castillo & Sjöström, 2008) and reduces the risk of early mortality from any cause (Ortega, Silventoinen, Tynelius & Rasmussen, 2012). However, the relationship with respect to the multiple existing cognitive variables is not completely contrasted (Ruiz-Ariza et al., 2017). Adolescence is a critical stage for cognitive performance (CP), and a high level in these ages can be an important predictor of health in adulthood (Esteban-Cornejo et al., 2015). Among the most outstanding variables in the educational field, there is memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity.

To assess student memory, we use a one-minute ad hoc test, based on other original ideas (Tombaugh, 1996; Wechsler, 1945) and the Reynolds Intellectual Assessment Scale (RIAS; Santamaría-Fernández & Fernández-Pinto, 2013). For the administration of this test, we projected a poster with 15 cards of the Spanish deck randomly selected, for 20 seconds on a 3 x 2 meter screen. Immediately after, the participants had 40 seconds to write as many letters on a standardized piece of paper as they could remember. The total number of correct answers (range 0-15) obtained by each participant was counted. Before the test, we verified that all participants knew the structure and content of the 40 cards in the Spanish deck. This memory test has been previously used in other researches with adolescents, with a good reliability test-retest of 0.919 (Ruiz-Ariza, Casuso, Suárez-Manzano & Martínez-López, 2018).

Selective attention and concentration were assessed with the Brickenkamp d2 test, in the Spanish version (Seisdodos, 2012). The participants had a short time to complete the test (20 seconds for each line). This test evaluates the speed of visual perception and concentration capacities, evaluating the ability of an individual to quickly and

accurately selective focus on certain relevant aspects of a task, while ignoring other irrelevant aspects. The complete administration of this paper and pencil test is four minutes and 40 seconds. We calculate the selective attention score using the following formula: $[\text{number of items processed} - (\text{omissions} + \text{mistakes})]$. In addition, we calculate the concentration with: $(\text{number of correct elements} - \text{number of mistakes})$. This test has been previously used in other recent research, with good test-retest of 0.911 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

The mathematical calculation can be assessed with an ad hoc test based on the studies by Jastak and Wilkinson (1993), and Passolunghi and Siegel (2004). With this test, it was intended to check the processing ability, speed and resolution of mathematical operations. This test consisted of presenting several columns of simple mathematical operations based on addition and subtraction with 6 digits (for example, $8 - 6 + 5 + 8 - 6 = 9$). To carry out the test, there was a minute in which the largest possible number of operations had to be resolved. To assess this test, the number of successes of the total operations carried out is counted. Previous studies show a test – retest of 0.887 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

The speed of linguistic reasoning was measured by an ad hoc test based on the study by Lervåg and Aukrust (2010) and the NealAnalysis of Reading Ability [NARA test] (<https://www.glassessment.co.uk/products/neale-analysis-of-reading-ability-nara/>). The objective of this test was to analyze the reading speed and semantic understanding of the students. This test consisted of the presentation of 30 rows of 4 words each, established randomly. Of these words, 3 were belonging to the same semantic field while the fourth word had no relationship with the others. Students who took the test should cross out, during the period of one minute, the greatest possible number of words "intrusive" or that had no relationship with others. The form of evaluation of the test consisted of the sum of the words selected correctly. Previous studies show a test – retest of 0.841 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Another important cognitive variable is creativity, key to academic, personal and work success (Heilman, 2016). Creativity has been defined as the capacity to invent a product of new and original value (Steinberg, Sykes, Moss, Lowery, LeBoutillier & Dewey, 1997), and according to Heilman, distinguishes three stages: (1) preparation, in which a person acquires the knowledge and skills necessary to discover, develop and produce a

creative product; (2) innovation, in which a person unconsciously searches an answer, discovers and unifies it; and (3) verification, which covers the final result. To assess this variable, the creative intelligence test (CREA) created by Corbalán-Berná et al. (2010). This test of divergent thinking is aimed at generating questions as an indicator of creative talent, originality and effectiveness. These questions are carried out with a certain stimulus and time, where each of them must be supported by a new cognitive scheme that, in turn, depends on at least two others. From a picture, participants have to elaborate as many questions as possible for 4 minutes. A score was assigned to each question (possible scores: 1 = low, 2 = medium, 3 = high) according to their quality and complexity. The CREA test allows better management of cognitive schemes since it does not contemplate the question as the final product. The predictive and concurrent validity of CREA was high compared to other creative batteries such as Guilford ($p < .005$).

For some researchers, a better level of fitness could optimize cognitive functions and promote increased brain performance (Chaddock-Heyman et al., 2014; Huang et al., 2015; Ruiz-Ariza et al., 2019; Tomporowski, McCullick, Pendleton and Pesce, 2015). Capacities such as cardiorespiratory endurance and muscular strength seem to positively influence the cognitive performance of young adolescents, and to a lesser extent speed and flexibility (Ruiz et al., 2010). For example, in a longitudinal study involving more than one million Swedes, Åberg et al. (2009), showed that the cardiorespiratory physical fitness acquired between 15 and 18 years, predicted the intellectual capacity at 18 years of age, measured with a series of tests of logic, verbal, visuospatial and technical intelligence. Another intervention study also showed positive effects on CP after 20 minutes of moderate aerobic exercise (Hogan et al., 2013). Therefore, the level of physical fitness could optimize executive functions and promote an increase in cerebral blood flow and synaptic plasticity, among other neuronal adaptations that are key to learning (Tomporowski, McCullick, Pendleton & Pesce, 2015). However, the results are inconclusive and there is still little information about the possible direct influence on the aforementioned variables, such as memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity, all considered key variables for the academic development of adolescents (Huang et al., 2015; Martínez-López et al., 2018; Ruiz-Ariza et al., 2019). Therefore, more studies are needed analyzing this relationship (**Paper I and II**).

Use of the C-HIIT method at the beginning of the school day: An idea to improve cognitive performance

Recently, several systematic reviews have found a positive relationship between daily PA and CP in young people (Ruiz-Ariza et al., 2017; Li et al., 2017). Two meta-analyzes showed acute positive effects of PA in the CP (Chang, Labban, Gapin and Etnier, 2012; Verburgh, Königs, Scherder and Oosterlaan, 2014). Acute episodes of PA in previous research have consisted of 20 and 13 minutes of moderate aerobic exercise (Stroth et al., 2009; Hogan et al., 2013), both performed at 60% VO₂max. In this same context, another study showed significant benefits of 10 minutes of acute exercise on memory (Cooper, Bandelow, Nute, Morris and Nevill, 2012). Other work showed that an acute 12-minute run stimulus at 70–80% of maximum heart rate (HR_{max}) improved the selective attention of children (Tine and Butler, 2012). Finally, another showed that preteens who performed two 20-minute AF stimuli of moderate intensity had significantly better selective attention scores compared to their counterparts who performed only one AF stimulus, or who remained seated all morning (Altenburg, Chinapaw and Singh, 2016). Therefore, there is significant support that the intensity of acute exercise to positively affect CR should be at least $\approx$ 60% HR_{max}.

Most studies based on acute exercise have shown short-term effects (immediately after the stimulus or in the immediately following hours) and have focused on moderate intensity exercise (65-90% HR_{max}), which includes a wide range of exercises and durations (10–45 minutes) during school hours. To date, few studies have addressed the optimal stimulus (eg, aerobic, coordinative, muscular, etc.) or the duration of the exercise that could greatly improve CP (Altenburg et al., 2016; Follador et al., 2018).

High intensity interval training (HIIT) combines intense periods of vigorous intensity PA (for example, from $\leq$ 45 seconds to 2–4 minutes to $>$ 85% HR_{max}) with short periods of passive rest between high intensity stimuli. It has been shown that HIIT maximizes the effects of exercise in the limited time available for young people to practice AF (Costigan, Eather, Plotnikoff, Hillman & Lubans, 2016). The benefits of HIIT for health are widely known at all ages, including adolescence (Costigan, Eather, Plotnikoff, Taaffe & Lubans, 2015; Logan, Harris, Duncan & Schofield, 2014). On a physiological level, the continuous work of HIIT increases the self-perceived effort of the participants (that is to say, the score shown on the Borg scale), heart rate, blood

lactate, cardiorespiratory fitness (measured by the VO₂ peak), muscle mitochondrial adaptations, blood pressure, dyspnea, glucose transport capacity, insulin sensitivity and glycemic control, increased availability of nitric oxide, better lipid metabolism and higher PGC-1 α , which affects oxidative capacity, antioxidant defense and resistance to age-related sarcopenia (Nicolo & Girardi, 2016). However, although HIIT has been widely studied among young athletes [that is to say, football players or athletes] (Engel, Ackermann, Chtourou and Sperlich, 2018; Faude, Schnittker, Schulte-Zurhausen, Müller & Meyer, 2013), few studies have incorporated HIIT in the Educational Center and focused on teenagers. Researches that demonstrated a positive and lasting impact of HIIT on CP in adolescents, the duration of the program was 8 to 10 minutes, with a work-rest relationship of 30:30 seconds, three sessions/week, for eight weeks (Costigan et al., 2016). Very few studies have used real-time intensity control through centralized and monitored heart rate monitoring to control heart rate during high intensity exercise. Similarly, few studies have incorporated the cooperative aspect into the HIIT program (Costigan et al., 2016; Logan et al., 2014; Marker & Staiano, 2015; Ruiz-Ariza, Suárez-Manzano, López-Serrano & Martínez-López, 2017).

Based on the above, Martínez-López et al. (2018) and Ruiz-Ariza et al. (2019), coined the term of C-HIIT (Cooperative-High intensity interval training). The cooperative exercise also promotes continuous play, self-efficacy and positive social behavior (Marker & Staiano, 2015; Ruiz-Ariza et al., 2019). Therefore, C-HIIT is a novel strategy to maximize the benefits of AF in educational settings. The studies of Martínez-López et al. (2018) and Ruiz-Ariza et al. (2019), showed how 12 weeks of C-HIIT (16 minutes at the beginning of the EF classes, two days a week), had positive effects on attention-concentration, mathematical calculation, well-being, sociability and creativity of adolescents, possibly due to the playful cooperative context and social interaction between partners (Ruiz -Ariza et al., 2019). Despite these findings and those of previous studies, evidence of the benefits of C-HIIT in adolescents' CP during the school day has not yet been empirically demonstrated; and, although most studies measured the immediate effect of PA on CP (e.g., 1 to 3 hours), previous studies did not measure prolonged effects during the subsequent period of 24 to 48 hours. Therefore, it is interesting to carry out an intervention, starting the school day with the C-HIIT stimulus and analyzing its effect on CP in repeated hours in the following hours (**Paper III**).

Active breaks and cognitive performance

The two weekly hours of PE is practically the just usual stimulus in which the students practice PA intentionally in the school context, being in many occasions only an average of between 10-20 minutes dedicated to PA of moderate-vigorous intensity (Gibson et al., 2008). With the objective of increasing the practice of PA in the educational context, it is increasingly popular to include stimuli such as active breaks, which consist of taking advantage of breaks between classes to perform some type of moderately-vigorous PA during a period that can range between 2 and 15 minutes (Janssen et al., 2014; Kahn et al., 2002; Ma et al., 2014).

A program of active breaks very prominent internationally is known as *TAKE10!* (<https://take10.net/>). This program combines academic instruction with 10-minute AF breaks. This program has been implemented in several countries demonstrating increases in the amount of daily PA, decreased sedentary lifestyle (Ribeiro and Alves, 2014), reduced body weight (Donnelly et al., 2009), cognitive improvements (attention, concentration, memory) and improvements in academic performance (Donnelly and Lambourne, 2011; Rasberry et al., 2011; Howie & Pate, 2012). However, Wilson et al. (2016) when evaluating the medium-long term effect of performing 10min of active breaks (3-4 weeks, 3-5 days/week) did not obtain differences in attention. On the other hand, Howie et al. (2014), when comparing the immediate effect of 5, 10 and 20 min of active breaks also did not obtain differences in the 20 min group, did obtain significant differences in the 10 min condition, and the condition of 5 min was positive only for girls. Grieco et al. (2016), analyzed in children aged 7-12 years the effect of performing moderate, vigorous PA, or sedentary games for 10-15min within the school day. The control group worsened the results in variables such as memory or attention, the group that made sedentary games did not obtain differences, and the moderate and vigorous PA groups obtained significant improvements with respect to the others. Coe et al. (2006), analyzed the effect of intensity in young people aged 10-11 years, and observed that the moderate intensity group did not reflect changes, while the group that worked at vigorous intensity did obtain significant improvements compared to the control group. The positive effects of active breaks in behavior are consistent (Carlson et al., 2015; Whitt-Glover, Ham & Yancey, 2011). Watson et al. (2019), implemented the “Acti-Break” program, based on 5 minutes of active breaks at moderate intensity, three times

a day, for 6 weeks. The activities incorporated a variety of games. For example: Students move around the classroom with musical games. When the music stops, the teacher shouts a part of the body and the students return to their chair and place the selected body part in their chair. The music starts again and the game continues. The results showed that these active breaks improved behavior in class, especially in boys. This suggests that active breaks may affect classroom behavior differently for different students.

In Spain, active breaks programs are also being implemented with the *DAME10* program through the Ministry (Abad 2014). It is a model that starts from the aforementioned *TAKE10!* and that is available for use since the end of 2014. The program activities are aimed at students in the 2nd cycle of Early Childhood Education, the entire Primary Education stage and the first and second year of Secondary Education (ESO). Solís (2019) implemented this program in students of first year of ESO, and among the results, he obtained that the PA of the participants increased 50% during school hours, 75.8% were considered more active, 58.5 % felt more motivated and 51% showed a better attitude after the activities. Among the teachers involved, 87.5% considered positive the daily implementation of this active breaks program.

In line with the above, Mullins et al. (2019) have shown that students participating in the Class Programs Active Breaks (CPAB) said they found it very funny (86%), provided them with an adequate rest period during the school day (88%), They were very good for their health (94%), and helped them feel more prepared to learn (71%) and learn better (50%). All teachers reported that they felt that their students really enjoyed CPABs, that encouraging students to be physically active was very important (83%), and that they felt very confident that they themselves could lead CPABs (72%). On the other hand, Aguilar et al. (2018) carried out an active break program called “*Movete15*” with students between 7-12 years old for 15 minutes in the exchange between the first two hours of school hours with a medium-high intensity. The results showed that 71.1% of the students reduced their body fat with a decrease of -1.33%. The speed-coordination of the students improved by 69.63% and the resistance by 62.22%. In another study carried out by Pastor-Vicedo et al. (2019) on active breaks in children in early childhood education, it is shown how the increase in PA with these short programs is related to an improvement in CP.

In the last systematic review with meta-analysis carried out by Masini et al. (2019), shows how the effects of active rest on cognitive variables, are not yet conclusive. A possible explanation of the existing controversy may be related to the variability in the measures used in the studies. Another possible explanation may be related to the duration and type (with or without cognitive commitment) of the interventions. Perhaps to obtain better benefits, cognitively attractive PA would have to be included, since apparently it may be more beneficial for cognitive functions than simply performing aerobic PA (Schmidt et al., 2015). On the other hand, Watson et al. (2017) found that PA interventions in the classroom led to improvements when monitoring tools were used. Hence, we consider very important the use of wireless pulsometry to control HR during the stimulation of active breaks.

Regarding cognitive variables, a systematic review carried out by Suárez-Manzano, Ruiz-Ariza, López-Serrano and Martínez López (2018), analyzed nine intervention studies based on active breaks and that studied their relationship with respect to Young people's attention. These authors showed that all studies used moderate-vigorous physical exercise lasting between 5-30 min. In seven studies they obtained improvements and in two they did not obtain changes. Finally, the influence of the duration and intensity of the intervention was observed having controversy between the different studies. Most studies are chronic, with several stimulation sessions. Among the few studies that analyze the acute effect, Altenburg et al. (2016), examined the effect of 1 or 2 active breaks of 20min duration at 40-60% of the maximum heart rate, during 1 school day, in children aged 10-13 in the Netherlands. Participants who took 2 active breaks had significantly better scores compared to children who took 1 break or those who sat all morning.

Many of the recent studies are committed to active wedges of 10–15 min (Watson et al., 2017). However, teachers indicate that they prefer short active breaks (≤ 5 min) (Howie, Newman-Norlund & Pate, 2014). While active breaks of at least 10 minutes have been proved to be effective in improving academic outcomes, few studies have investigated the effect of shorter active break programs (Ma, Le Mare & Gurd, 2015; Howie, Schatz & Pate, 2015). While active breaks of moderate-vigorous intensity of 5 minutes (for example, walking, jumping and running) were not enough to improve academic results (Howie, Beets & Pate, 2015; Howie, Schatz & Pate, 2015), other authors suggested using breaks of vigorous intensity of 4 minutes (for example, jumps) to positively and

acutely affect cognitive variables such as attention (Ma, Le Mare & Gurd, 2015 and 2014). However, the effect of this type of stimuli is little known. In this way, our interventions will search to know the effect both acute and chronic of active breaks in cognitive variables such as memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning, or creativity in adolescents (**paper IV and V**).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS [REFERENCES]

1. Abad, B., Cañada, D., Cañada, M. (2014). “¡Dame 10!” Descansos Activos Mediante Ejercicio físico. Disponible en https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/Estrategia/docs/Dame10_Completo.pdf.
2. Aberg, M. A. I., Pedersen, N. L., Torén, K., Svartengren, M., Bäckstrand, B., Johnsson, T., ... Kuhn, H. G. (2009). Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(49), 20906–11.
3. Aguilar, M.A., Gil-Madrona, P., Ortega-Dato, J.F., Rodríguez-Blanco, O.F. (2018). Mejora de la condición física y la salud en estudiantes tras un programa de descansos activos. *Revista Española de Salud Pública*. 92 (5). <http://scielo.isciii.es/pdf/resp/v92/1135-5727-resp-92-e201809068.pdf>
4. Altenburg, T.M., Chinapaw, M.J.M., & Singh, A.S. (2016). Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: a randomized controlled trial. *Journal of Sciences and Medicine Sport*; 19(10), 820–824.
5. Carlson, J.A., Engelberg, J.K., Cain, K.L., Conway, T.L., Mignano, A.M., ... Sallis, J.F. (2015). Implementing classroom physical activity breaks: associations with student physical activity and classroom behavior. *Preventive Medicine*, 81, 67–72.
6. Castro-Piñero, J., Artero, E. G., España-Romero, V., Ortega, F. B., Sjöström, M., Suni, J., ... Ruiz, J. R. (2010). Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 934–43.
7. Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Holtrop, J. L., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., ... Kramer, A. F. (2014). Aerobic fitness is associated with greater white matter integrity in children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 584.
8. Chang, Y.K., Labban, J.D., Gapin, J.I., & Etnier, J.L. (2012). The effects of acute

- exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101.
9. Coe, D. P., Pivarnik, J. M., Womack, C. J., Reeves, M. J., & Malina, R. M. (2006). Effect of physical education and activity levels on academic achievement in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(8), 1515–1519.
 10. Cooper, S.B., Bandelow, S., Nute, M.L., Morris, J.G., & Nevill, M.E. (2012). The effects of a mind-morning bout of exercise on adolescents' cognitive function. *Mental Health and Physical Activity*, 5(2), 183-190.
 11. Corbalán-Berná, J., & Limiñana-Gras, R. M. (2010). El genio en una botella. El test CREA, las preguntas y la creatividad. Introducción al monográfico “El test CREA, inteligencia creativa. *Anales de psicología*, 26(2), 197-205.
 12. Costigan, S. A., Eather, N., Plotnikoff, R. C., Hillman, C. H., & Lubans, D. R. (2016). High-intensity interval training for cognitive and mental health in adolescents. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 48(10), 1985–1993.
 13. Costigan, S. A., Eather, N., Plotnikoff, R.C., Taaffe, D.R., & Lubans, D.R. (2015). High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49, 1253-1261.
 14. Donnelly J.E., Greene J.L., Gibson C.A., Smith B.K., Washburn R.A., Sullivan D.K. et al. (2009). Physical Activity Across the Curriculum (PAAC): a randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children. *Preventive Medicine*, 49(4), 336-341.
 15. Donnelly, J. E., & Lambourne, K. (2011). Classroom-based physical activity, cognition, and academic achievement. *Preventive Medicine*, 52 Suppl 1, S36-42.
 16. Kelund, U., Dalene, K. E., Tarp, J., & Lee, I.-M. (2020). Physical activity and mortality: what is the dose response and how big is the effect? *British Journal of Sports Medicine*, bjsports-2019-101765.
 17. Engel, F.A., Ackermann, A., Chtourou, H., & Sperlich, B. (2018). High-Intensity Interval Training Performed by Young Athletes: A Systematic Review and Meta-

- Analysis. *Frontiers in Physiology*, 27(9), 1012.
18. Esteban-Cornejo, I., Tejero-Gonzalez, C. M., Sallis, J. F., & Veiga, O. L. (2015). Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 18(5), 534–9.
 19. Faude, O., Schnittker, R., Schulte-Zurhausen, R., Müller, F., & Meyer, T. (2013). High intensity interval training vs. high-volume running training during pre-season conditioning in high-level youth football: a cross-over trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1441-1450.
 20. Follador, L., Alves, R. C., Ferreira, S. D. S., Buzzachera, C. F., Andrade, V. S., Garcia, E., . . . da Silva, S. G. (2018). Physiological, perceptual, and affective responses to six high-intensity interval training protocols. *Perceptual and Motor Skills*, 125(2), 329–350.
 21. Gibson, C.A., Smith, B.K., & DuBose, K.D. (2008). Physical activity across the curriculum: year one process evaluation results. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5, 36.
 22. Grieco, L.A., Jowers, E.M., Errisuriz, V.L., & Bartholomew, J.B. (2016). Physically active vs. sedentary academic lessons: A dose response study for elementary student time on task. *Preventive Medicine*, 89, 98-103
 23. Heilman, K. M. (2016) Possible brain mechanisms of creativity. *Archives of Clinical Neuropsychology* 31(4), 285–296.
 24. Hogan, M., Kiefer, M., Kubesch, S., Collins, P., Kilmartin, L., & 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.
 25. Howie, E.K., Beets, M.W., & Pate, R.R. (2014). Acute classroom exercise breaks improve on-task behavior in 4th and 5th grade students: a dose–response. *Mental Health and Physical Activity*, 7(2), 65–71.
 26. Howie, E. K., & Pate, R. R. (2012). Physical activity and academic achievement in

- children: A historical perspective. *Journal of Sport and Health Science*, 1(3), 160–169.
27. Howie, E.K., Schatz, J., & Pate, R.R. (2015). Acute effects of classroom exercise breaks on executive function and math performance: a dose-response study. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86(3), 217–224.
28. Huang, T., Tarp, J., Domazet, S. L., Thorsen, A. K., Froberg, K., Andersen, L. B., & Bugge, A. (2015). Associations of Adiposity and Aerobic Fitness with Executive Function and Math Performance in Danish Adolescents. *The Journal of Pediatrics*, 167(4), 810–815.
29. Janssen, M., Chinapaw, M. J. M., Rauh, S. P., Toussaint, H. M., Van Mechelen, W., & Verhagen, E. A. L. M. (2014). A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10–11. *Mental health and physical activity*, 7(3), 129–134.
30. Jastak, S., & Wilkinson, G. S. (1993). *Wide Range Achievement Test-Revised*. Wilmington, USA: Jastak Associates.
31. Kahn, E. B., Ramsey, L. T., Brownson, R. C., Heath, G. W., Howze, E. H., Powell, K. E... Corso P. (2002). The effectiveness of interventions to increase physical activity. A systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 22, 73–107.
32. Kujala, U. M. (2018). Is physical activity a cause of longevity? It is not as straightforward as some would believe. A critical analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 52(14), 914–918.
33. Lervåg, A., & Aukrust, V. G. (2010). Vocabulary knowledge is a critical determinant of the difference in reading comprehension growth between first and second language learners. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(5), 612–620.
34. Li, J. W., O'Connor, H., O'Dwyer, N., & Orr, R. (2017). The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(9), 841–848.

35. Logan, G. R. M., Harris, N., Duncan, S., & Schofield, G. (2014). A Review of Adolescent High-Intensity Interval Training. *Sports Medicine*, 44(8), 1071–1085.
36. Ma, J.K., Le Mare, L., & Gurd, B.J. (2014). Classroom-based high-intensity interval activity improves off-task behaviour in primary school students. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(12), 1332–1337.
37. Ma, J.K., Le Mare, L., & Gurd, B.J. (2015). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9 to 11 year olds. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 238–244.
38. Marker, A. M., & Staiano, A. E. (2015). Better Together: Outcomes of Cooperation Versus Competition in Social Exergaming. *Games for Health Journal*, 4(1), 25–30.
39. Martínez-López, E. J., De la Torre-Cruz, M. J., Suárez-Manzano, S., & Ruiz-Ariza, A. (2018). 24 sessions of monitored cooperative high-intensity interval training improves attention-concentration and mathematical calculation in secondary school. *Journal of Physical Education and Sport*, 18(3), 1572-1582.
40. Masini, A., Marini, S., Gori, D., Leoni, E., Rochira, A., & Dallolio, L. (2019). Evaluation of school-based interventions of active breaks in primary schools: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport* (in press).
41. Mullins, N. M., Michaliszyn, S. F., Kelly-Miller, N., & Groll, L. (2019). Elementary school classroom physical activity breaks: Student, teacher, and facilitator perspectives. *Advances in Physiology Education*, 43(2), 140–148.
42. Nicolo, A., & Girardi, M. (2016). The physiology of interval training: a new target to HIIT. *The Journal of Physiology*, 594(24), 7169-7170.
43. Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., & Sjöström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International Journal of Obesity*, 32(1), 1–11.
44. Ortega, F. B., Silventoinen, K., Tynelius, P., & Rasmussen, F. (2012). Muscular strength in male adolescents and premature death: cohort study of one million

- participants. *BMJ*, 345, e7279.
45. Passolunghi, M. C., & Siegel, L. S. (2004). Working memory and access to numerical information in children with disability in mathematics. *Journal of Experimental Child Psychology*, 88(4), 348–367.
46. Pastor-Vicedo, J., Martínez-Martínez, J., Jaén Tévar, Y., & Prieto-Ayuso, A. (2019). Los descansos activos y la mejora de los aprendizajes en educación infantil: una propuesta de intervención. *SPORT TK-Revista EuroAmericana De Ciencias Del Deporte*, 8(2), 67-72.
47. Rasberry, C. A., Lee, S. M., Robin, L., Laris, B. A., Russell, L. A., Coyle, K. K., & Nihiser, A. J. (2011). The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance: A systematic review of the literature. *Preventive Medicine*, 52, s10-s20.
48. Ribeiro R. & Alves L. (2014). Comparison of two school-based programmes for health behaviour change: The Belo Horizonte Heart Study randomized trial. *Public Health Nutrition*, 17(6), 1195-1204.
49. Ruiz, J. R., Castro-Pinero, J., Espana-Romero, V., Artero, E. G., Ortega, F. B., Cuenca, M. M.,... Castillo, M. J. (2011). Field-based fitness assessment in young people: the ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 45(6), 518–524.
50. Ruiz-Ariza, A., Casuso, R. A., Suarez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Effect of augmented reality game Pokémon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers and Education*, 116, 49–63.
51. Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., de Loureiro, N. E. M., & Martínez-López, E. J. (2017). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1), 108–133.
52. Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., López-Serrano, S., & Martínez-López, E.J. (2019). The effect of cooperative high-intensity interval training on creativity and

- emotional intelligence in secondary school: A randomised controlled trial. *European Physical Education Review*, 25, 355-373.
- 53.Santamaría-Fernández, P., & Fernández-Pinto, I. (2013). *Adaptación española de RIAS. Reynolds Intellectual Assessment Scales*. Madrid: TEA Ediciones.
- 54.Schmidt, M., Jäger, K., Egger, F., Roebbers, C. M., & 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 Exercise Psychology*, 37(6), 575-591.
- 55.Seisdedos, N. (2012). *Adaptación española D2, test de atención de Brickenkamp*. Madrid: TEA Ediciones.
- 56.Solís, I. (2019). Experiencia de la implementación del programa “Descansos Activos Mediante ejercicio (DAME 10!)” en Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Española de Salud Pública*. 92. https://www.mscbs.gob.es/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/resp/revista_cdrom/VOL93/ORIGINALES/RS93C_201911087.pdf
- 57.Steinberg, H., Sykes, E. A., Moss, T., Lowery, S., LeBoutillier, N., & Dewey, A. (1997). Exercise enhances creativity independent of mood. *British Journal of Sports Medicine*, 31, 240–245.
- 58.Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R., & Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, 114–24.
- 59.Tine, M.T., & Butler, A.G. (2012). Acute aerobic exercise impacts selective attention: an exceptional boost in lower-income children. *Educational Psychology: An International Journal of Experimental Educational Psychology*, 32(7), 821-834.
- 60.Tombaugh, T. N. (1996). *Test of memory malingering: TOMM*. North Tonawanda, USA: Multi-Health Systems.
- 61.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.
62. Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E.J.A., & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48, 973-979.
63. Watson, A. J. L., Timperio, A., Brown, H., & Hesketh, K. D. (2019). A pilot primary school active break program (ACTI-BREAK): Effects on academic and physical activity outcomes for students in Years 3 and 4. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(4), 438–443.
64. Watson, A., Timperio, A., Brown, H., Best, K., & Hesketh K.D. (2017). Effect of classroom-based physical activity interventions on academic and physical activity outcomes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1), 114.
65. Wechsler, D. (1945). A standardized memory scale for clinical use. *The Journal of Psychology: Interdisciplinary and Applied*, 19(1), 87-95.
66. Whitt-Glover, M.C., Ham, S.A., & Yancey, A.K. (2011). Instant Recess(R): a practical tool for increasing physical activity during the school day. *Progress in Community Health Partnerships: Research, Education, and Action*, 5(3), 289–297.
67. Wilson, A. N., Olds, T., Lushington, K., Petkov, J., & Dollman, J. (2016). The impact of 10-minute activity breaks outside the classroom on male students' on-task behaviour and sustained attention: a randomised crossover design. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway : 1992)*, 105(4), e181-8.

OBJETIVOS

Objetivo General de la Tesis Doctoral

Conocer la relación de variables de condición física con variables cognitivas en adolescentes, así como el efecto de diferentes programas de actividad física durante la jornada escolar (entrenamiento de alta intensidad interválica y cooperativo [C-HIIT] al inicio del día y descansos físicamente activos entre asignaturas) en variables de rendimiento cognitivo.

Objetivos Específicos de los Trabajos Realizados

- Analizar la asociación del nivel de condición física con variables de rendimiento cognitivo como memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad (**paper I**).
- Realizar una revisión sistemática sobre programas escolares de HIIT y C-HIIT y su efecto sobre el rendimiento escolar (**paper II**).
- Determinar el efecto de un programa C-HIIT de 16 minutos (precedidos de 4 minutos de calentamiento) llevado a cabo a primera hora de la jornada escolar en el rendimiento cognitivo de adolescentes durante las 48 horas posteriores a la intervención (**paper III**).
- Analizar el efecto de diferentes descansos activos de 4 minutos, controlados con pulsometría (GC = descanso habitual, GE1= caminata baja intensidad y GE2 = actividades a alta intensidad) entre la segunda y la tercera clase (10.00h) en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad (**paper IV**).
- Analizar el efecto de una intervención de 8 semanas basada en cuatro descansos activos diarios de 4' a moderada-alta intensidad controlada con pulsometría en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad (**paper V**).

AIMS

General aim of the Doctoral Thesis

To know the relationship of physical fitness variables with cognitive variables in adolescents, as well as the effect of different physical activity programs during the school day (high intensity interval and cooperative training [C-HIIT] at the beginning of the day, and physically active breaks between subjects), on cognitive performance variables.

Specific Objectives of the Work Performed

- To analyze the association of the level of physical fitness with cognitive performance variables such as memory, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity (**paper I**).
- To carry out a systematic review of HIIT and C-HIIT school programs and their effect on school performance (**paper II**).
- To determine the effect of a 16-minute C-HIIT program (preceded by 4 minutes of warm-up) carried out early in the school day on the cognitive performance of adolescents during the 48 hours after the intervention (**paper III**).
- To analyze the effect of different active 4-minute breaks, controlled with pulsometry (CG = usual break, EG1 = walking at low intensity and EG2 = high intensity activities), between the second and third class (10.00h), on cognitive variables such as memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity (**paper IV**).
- To analyze the effect of an 8-week intervention based on four active daily breaks of 4' at moderate-high intensity controlled with pulsometry about memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity (**paper V**).

MATERIAL Y MÉTODOS

Este apartado de material y métodos se resume en la tabla que se presenta a continuación (Tabla 1), en la que se incluye la información metodológica más relevante de los artículos que conforman esta Tesis Doctoral:

Tabla 1. Tabla resumen de las metodologías utilizadas en los diferentes artículos que componen esta Tesis Doctoral.

Artículo	Diseño	Participantes	Procedimiento	Variables	Análisis estadístico
<i>I. Capacidades Físicas y su relación con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes.</i>	Transversal	Un total de 163 adolescentes (78 chicas y 85 chicos) pertenecientes a dos Centros de Educación Secundaria de la provincia de Jaén (España).	Las mediciones de las pruebas de condición física y de rendimiento cognitivo fueron realizadas en las clases de EF. Todas ellas siguieron los protocolos estandarizados mostrados en las publicaciones que las han usado previamente.	Variables Independientes: Condición Física mediante la batería ALPHA-Fitness (Ruiz et al. 2001). Variables Dependientes: Memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico, creatividad. Covariables: Sexo, Edad, IMC.	Análisis de regresión lineal entre las variables de condición física y los resultados obtenidos en las variables cognitivas de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad.
<i>II. Influencia de programas de entrenamiento de alta intensidad en el rendimiento cognitivo y académico de adolescentes: Una revisión sistemática desde 2005-2019</i>	Revisión sistemática	Las muestras estaban comprendidas desde 25 participantes hasta 184 (adolescentes).	Estructura siguiendo otras revisiones sistemáticas previas (Castro-Piñero et al., 2010; Esteban-Cornejo et al, 2015; Ruiz-Ariza et al., 2017) y la guía PRISMA (Moher et al., 2009). Se usaron 2 bases de datos (PubMed y Scopus) desde el 1 enero de 2005 hasta el 28 febrero de 2019.	Variables Independientes: Programas de alta intensidad (HIIT) o alta intensidad cooperativa (C-HIIT). Variables Dependientes: Variables cognitivas y académicas.	Porcentajes y frecuencias.
<i>III. 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training On Adolescent Cognitive Functioning</i>	Longitudinal con intervención	Un total de 158 adolescentes de cuatro institutos de Educación Secundaria de Andalucía (España).	Las variables cognitivas se midieron en siete momentos durante la mañana escolar: al inicio, inmediatamente después y tras 2, 3, 4, 24 y 48 horas. Cada participante del GE tuvo que mantener la intensidad requerida (rango $\approx$ 165-185ppm) durante al menos el 80% de los 16 minutos del programa C-HIIT. El GC realizó ejercicios de estiramiento estáticos durante el mismo tiempo.	Variables Independientes: Programa C-HIIT de 16 minutos. Variables Dependientes: La memoria, la atención y la concentración. Covariables: Edad, Sexo, IMC.	La comparación de las variables continuas y categóricas se llevó a cabo a través de t de Students y χ^2 , respectivamente. Se realizaron pruebas de distribución y homogeneidad normales antes del análisis. Para estudiar la relación entre variables, se utilizó la correlación de Pearson. Se usaron ANCOVAs de medidas repetidas 2 grupo (GC, GE) x 7 tiempo (pre, post, y después de 2, 3, 4, 24 y 48 horas).

IV. Efecto agudo de los descansos físicamente activos en la memoria, atención, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en Educación Secundaria	Longitudinal con intervención	136 adolescentes de Educación Secundaria de 12.92 ± 0.43 años.	Se emplearon 3 grupos de estudio: 1) GC que permaneció sentado dentro de la clase; 2) GE1 que realizó 1 descanso activo de 4 minutos a baja intensidad y 3) GE2 que llevó a cabo ejercicios cooperativos de alta intensidad.	Variables Independientes: 4' minutos de descansos activos a baja o alta intensidad Variables Dependientes: La memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad. Covariables: Edad, sexo, estudios de la madre.	Para analizar los efectos de los diferentes tipos de descansos se empleó ANCOVA de medidas repetidas 3 Grupo (GC, GE1, GE2) x 2 Tiempo (pre, post). Se empleó como covariables la edad, sexo y estudios de la madre.
V. Efecto de un programa de ocho semanas de descansos activos entre clases sobre memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes	Longitudinal con intervención	162 adolescentes de Educación Secundaria (12.27 ± 0.47 años).	8 semanas de intervención basada en cuatro descansos activos diarios de 4' a moderada-alta intensidad controlada con pulsometría [FC media = 146.2ppm] (a las 9.00h, 10.00h, 12.30h y 13.30h).	Variables Independientes: 4 descansos activos a moderada-alta intensidad, de 4' minutos cada uno, durante 8 semanas Variables Dependientes: La memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad. Covariables: Edad, IMC, horas de estudio diario y MVPA.	ANCOVA de medidas repetidas 2 Grupo (GC, GE) x 2 Tiempo (pre, post). Se empleó como variables dependientes cada medida cognitiva, como factor fijo el Grupo y como covariables la edad, IMC, horas de estudio diario y MVPA.

EF: Educación Física. AF: Actividad física. IMC: Índice de masa corporal. HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad. C-HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad y cooperativo. GE: Grupo experimental. GC: Grupo control. ANCOVA: Análisis de covarianza. FC: Frecuencia cardíaca. Ppm: Pulsaciones por minuto. MVPA: Actividad física de moderada a vigorosa.

MATERIAL AND METHODS

This section of material and methods is summarized in the table presented below (Table 1), which includes the most relevant methodological information of the articles that make up this Doctoral Thesis:

Table 1. Summary table of the methodologies used in the different papers of this Doctoral Thesis.

Paper	Design	Participants	Procedure	Variables	Statistical analysis
<i>I. Physical capacities and their relationship with memory, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in adolescents</i>	Cross-sectional	A total of 163 adolescents (78 girls y 85 boys) from two secondary schools in Jaén (Spain).	Measurements of physical fitness and cognitive performance tests were performed in the PE classes. All of them followed the standardized protocols shown in the publications that have previously used them.	Independent variables: Physical fitness through the ALPHA-Fitness battery (Ruiz et al. 2001). Dependent Variables: Memory, mathematical calculation, linguistic reasoning, creativity. Covariates: Sex, Age, BMI	Linear regression analysis between fitness variables and the results obtained in cognitive variables as memory, mathematical calculation, linguistic reasoning speed and creativity.
<i>II. Influence of high intensity training programs on the cognitive and academic performance of adolescents: A systematic review from 2005-2019</i>	Systematic review	The samples ranged from 25 to 184 adolescents.	Structure following previous systematic reviews (Castro-Piñero et al., 2010; Esteban-Cornejo et al., 2015; Ruiz-Ariza et al., 2017) and the PRISMA guide (Moher et al., 2009). 2 databases (PubMed and Scopus) were used, from January 1, 2005 to February 28, 2019.	Independent variables: High intensity (HIIT) or cooperative high intensity (C-HIIT) programs. Dependent Variables: Cognitive and academic variables.	Percentages and frequencies.
<i>III. 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training On Adolescent Cognitive Functioning</i>	Longitudinal with intervention	A total of 158 adolescents from four secondary schools in Andalusia (Spain).	Cognitive variables were measured at seven times during the school morning: at the beginning, immediately after and after 2, 3, 4, 24 and 48 hours. Each EG had to maintain the required intensity (range $\approx$ 165-185Bpm) for at least 80% of the 16 minutes of the C-HIIT program. The CG performed static stretching exercises during the same time	Independent variables: 16-minute C-HIIT program. Dependent Variables: Memory, attention and concentration. Covariates: Age, Sex, BMI.	The comparison of continuous and categorical variables was carried out through Students t and y^2 , respectively. Normal distribution and homogeneity tests were performed before analysis. To study the relationship between variables, Pearson's correlation was used. ANCOVAs of repeated measures 2 group (GC, GE) x 7 time (pre, post, and after 2, 3, 4, 24 and 48 hours) were used.

<i>IV. Acute effect of physically active breaks on memory, attention, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in Secondary School</i>	Longitudinal with intervention	136 secondary School adolescents of 12.92 ± 0.43 years.	Three study groups were used: 1) CG who remained seated within the class; 2) EG1 that made 1 active break of 4 minutes at low intensity; and 3) EG2 that carried out high intensity cooperative exercises.	Independent variables: 4 minutes of active breaks at low or high intensity Dependent Variables: Memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity. Covariates: Age, sex, mother studies.	To analyze the effects of the different types of active breaks, ANCOVA was used with repeated measures 3 Group (CG, EG1, EG2) x 2 Time (pre, post). Age, sex and studies of the mother were used as covariates.
<i>V. Effect of an eight-week program of active breaks between classes on memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in adolescents</i>	Longitudinal with intervention	162 secondary School adolescents (12.27 ± 0.47 years).	8 weeks of intervention based on four daily active breaks of 4' at moderate-high intensity controlled with pulsometry [mean HR = 146.2bpm] (at 9.00 a.m., 10.00 a.m., 12.30 p.m. and 1.30 p.m.).	Independent variables: 4 active breaks at moderate-high intensity, 4 minutes each, for 8 weeks Dependent Variables: Memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity. Covariates: Age, BMI, hours of daily study and MVPA.	ANCOVA of repeated measures 2 Group (CG, EG) x 2 Time (pre, post). Each cognitive measure was used as dependent variables, group as a fixed factor, and age, BMI, hours of daily study and MVPA as covariates.

PE: Physical Education. BMI: Body mass index. HIIT: High intensity interval training. C-HIIT: Cooperative high intensity interval training. EG: Experimental group. CG: Control group. ANCOVA: Analysis of covariance. HR: Heart rate. bpm: beat per minute. MVPA: Moderated to vigorous physical activity.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión se muestran del mismo modo en que han sido publicados en las revistas científicas. Además, se presenta una tabla (Tabla 2) con el resumen de los resultados más destacados en cada uno de los trabajos realizados:

Tabla 2. Resumen de los resultados obtenidos en los artículos que componen la Tesis Doctoral.

Artículo	Resultados
<i>I. Capacidades Físicas y su relación con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes.</i>	Los análisis mostraron que la resistencia cardiorrespiratoria de los jóvenes se asocia a mejores niveles de memoria ($p = .027$), cálculo matemático ($p = .035$), razonamiento lingüístico ($p = .014$) y creatividad ($p = .005$), independientemente de la edad, sexo e índice de masa corporal de los jóvenes. Sin embargo, mejores niveles de velocidad-agilidad, fuerza y flexibilidad no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos $p > .05$).
<i>II. Influencia de programas de entrenamiento de alta intensidad en el rendimiento cognitivo y académico de adolescentes: Una revisión sistemática desde 2005-2019</i>	Se incluyeron 7 artículos en la revisión sistemática. El análisis general de resultados ha mostrado un efecto positivo de realizar HIIT o C-HIIT sobre variables cognitivas y académicas de los adolescentes. Por tanto, se sugiere la implantación de programas de AF de alta intensidad, especialmente de carácter cooperativo, en el contexto escolar.
<i>III. 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training On Adolescent Cognitive Functioning</i>	Los adolescentes en el grupo C-HIIT monitorizado aumentaron la atención selectiva en 17.39% durante la siguiente hora ($p = .015$) y aumentaron la concentración en 20.31% y 15.26% durante la primera ($p = .022$) y segunda ($p = .059$) horas posteriores, respectivamente.
<i>IV. Efecto agudo de los descansos físicamente activos en la memoria, atención, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en Educación Secundaria</i>	Se comprobó que descansos activos tanto a baja como a alta intensidad mejoran la memoria. El grupo que realizó el descanso activo de baja intensidad presenta un efecto de mejora del 21 y 25% en la atención y concentración respectivamente cuando se compara con el GC. Por su parte, el descanso activo de alta intensidad presenta un efecto de mejora del 14.7% en la atención. Se observan mejoras en el cálculo matemático en ambos GEs pero las diferencias no llegan a ser significativas. La inclusión de descansos activos no produce efecto de mejora en otras variables cognitivas como la capacidad lingüística o la creatividad. No se ha observado efecto negativo en la puntuación de ninguna variable de estudio después de llevar a cabo el descanso activo.
<i>V. Efecto de un programa de ocho semanas de descansos activos entre clases sobre memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes</i>	Se comprobó que el programa de 8 semanas de descansos activos provocó mejoras de un 11.7%, un 10.9% y un 13.13% en la atención, concentración y cálculo matemático, respectivamente, de los jóvenes participantes. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en la memoria, razonamiento lingüístico y creatividad. No se ha observado efecto negativo en la puntuación de ninguna variable de estudio después de llevar a cabo el programa de intervención.

HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad. C-HIIT: entrenamiento interválico de alta intensidad y cooperativo. GC: Grupo control. GE: Grupo experimental.

RESULTS AND DISCUSSION

The results and discussion are shown in the same way they have been published in scientific journals. In addition, a table is presented (Table 2) with the summary of the most outstanding results in each of the works carried out:

Table 2. Summary of the results obtained in the papers of this Doctoral Thesis.

Paper	Results
<i>I. Physical capacities and their relationship with memory, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in adolescents</i>	The analyzes showed that young people's cardiorespiratory fitness is associated with better levels of memory ($p = .027$), mathematical calculation ($p = .035$), linguistic reasoning ($p = .014$) and creativity ($p = .005$), regardless of age, sex and body mass index of young people. However, better levels of speed-agility, strength and flexibility were not related to improvements in any of the dependent variables analyzed (all $p > .05$).
<i>II. Influence of high intensity training programs on the cognitive and academic performance of adolescents: A systematic review from 2005-2019</i>	7 articles were included in the systematic review. The general analysis of results has shown a positive effect of performing HIIT or C-HIIT on adolescents' cognitive and academic variables. Therefore, the implementation of high-intensity PA programs, especially of a cooperative nature, is suggested in the school context.
<i>III. 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training On Adolescent Cognitive Functioning</i>	Adolescents in the monitored C-HIIT group increased selective attention by 17.39% during the next hour ($p = .015$) and increased the concentration by 20.31% and 15.26% during the first ($p = .022$) and second ($p = .059$) later hours, respectively.
<i>IV. Acute effect of physically active breaks on memory, attention, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in Secondary School</i>	It was found that active breaks both at low and high intensity improve memory. The group that performed the low intensity active break has an improvement effect of 21 and 25% in attention and concentration respectively, compared to the CG. On the other hand, high intensity active rest has a 14.7% improvement effect in attention. There are improvements in the mathematical calculation in both EGs but the differences do not become significant. The inclusion of active breaks does not produce an improvement effect on other cognitive variables such as linguistic ability or creativity. No negative effect on the score of any study variable was observed after active rest.
<i>V. Effect of an eight-week program of active breaks between classes on memory, attention-concentration, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in adolescents</i>	It was found that the 8-week program of active breaks led to improvements of 11.7%, 10.9% and 13.13% in the attention, concentration and mathematical calculation, respectively, in young participants. However, there were no significant changes in memory, linguistic reasoning and creativity. There was no negative effect on the score of any study variable after carrying out the intervention program.

HIIT: High intensity interval training. C-HIIT: cooperative high intensity interval training. PA: Physical activity. CG: Control group. EG: Experimental group.

**Cualidades físicas y su relación con la memoria,
cálculo matemático, razonamiento lingüístico y
creatividad en adolescentes**

**Mezcua-Hidalgo, A., Ruiz-Ariza, A., Ferreira Brandão de Loureiro,
V.A., & Martínez-López, E.J. (2020).**

Retos, 37, 473-479

(SJR: 0,3, Q3 Education)

Capacidades físicas y su relación con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes

Physical capacities and their relation with memory, mathematical calculation, linguistic reasoning, and creativity in adolescents

*Alberto Mezcua-Hidalgo, *Alberto Ruiz-Ariza, **Vania A. Ferreira Brandão de Loureiro, *Emilio J. Martínez-López

*Universidad de Jaén (España), **Instituto Politécnico de Beja (Portugal)

Resumen. El objetivo del presente estudio fue analizar la asociación del nivel de condición física con variables de rendimiento cognitivo como memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad. La muestra estaba formada por 163 adolescentes (78 chicas y 85 chicos) de $13,9 \pm 1,4$ años. La memoria se evaluó mediante una adaptación propia basada en la prueba RIAS. Para el cálculo matemático y el razonamiento lingüístico se usaron tests *ad hoc* y para la creatividad el test CREA. Los análisis mostraron que la resistencia cardiorrespiratoria de los jóvenes se asocia a mejores niveles de memoria ($p = ,027$), cálculo matemático ($p = ,035$), razonamiento lingüístico ($p = ,014$) y creatividad ($p = ,005$), independientemente de la edad, sexo e índice de masa corporal de los jóvenes. Sin embargo, mejores niveles de velocidad-agilidad, fuerza y flexibilidad no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos $p > ,05$). Se concluye que la resistencia cardiorrespiratoria es el componente de la condición física que en mayor medida se relaciona con altas capacidades cognitivas de los jóvenes. Se sugiere, que desde la Educación Física se implementen programas específicos para incrementar el nivel de capacidad cardiorrespiratoria, con prácticas sistemáticas especialmente durante el periodo extraescolar.

Palabras clave: capacidad cardiorrespiratoria, Educación física, rendimiento cognitivo, pensamiento divergente.

Abstract: The aim of the present study was to analyze the association of the level of physical fitness with variables of cognitive performance such as memory, mathematical calculation, speed of linguistic reasoning, and creativity. The sample consisted of 163 adolescents (78 girls and 85 boys) aged 13.9 ± 1.4 years old. Memory was evaluated through an own adaptation based on the RIAS test. *Ad hoc* tests were used for mathematical calculation and linguistic reasoning, and the CREA test for creativity. The analyses showed that youth's cardiorespiratory fitness is associated with better levels of memory ($p = ,027$), mathematical calculation ($p = ,035$), linguistic reasoning ($p = ,014$), and creativity ($p = ,005$) regardless of age, sex, and body mass index. However, better levels of speed-agility, strength, and flexibility were not related with improvements in any of the dependent variables analyzed (all $p > ,05$). Cardiorespiratory fitness is the physical fitness component with the highest relation with cognitive abilities in youngsters. We suggest the implementation of specific programs aimed at increasing cardiorespiratory fitness levels through Physical Education, especially employing systematic physical activity practices during the extracurricular period.

Keywords: Cardiorespiratory fitness, Physical Education, cognitive performance, divergent thinking.

Introducción

La condición física hace referencia a un conjunto de capacidades que engloban la resistencia cardiorrespiratoria, velocidad, fuerza muscular y la flexibilidad, estando también mediatizadas por otras de tipo neuromuscular como la coordinación y el equilibrio. En jóvenes, los efectos en la salud de una adecuada condición física están ampliamente contrastados (Kujala, 2018) y existe un amplio consenso en que mejora el sistema músculo-esquelético, reduce el riesgo de enfermedades cardiometabólicas (Ortega, Ruiz, Castillo y Sjöström, 2008) y disminuye el riesgo de mortalidad prematura (Ortega, Silventoinen, Tynelius y Rasmussen, 2012). Sin embargo, la relación respecto a las múltiples variables cognitivas no están del todo contrastadas (Hogan, Kiefer, Kubesch, Collins, Kilmartin y Brosnan, 2013; Martínez-López, Moreno-Cerceda, Suárez-Manzano y Ruiz-Ariza, 2018; Morales, González, Guerra, Virgili y Unnithan, 2011).

Estudios previos, han mostrado que la práctica sistemática de actividad física (AF) y el nivel de condición física en los jóvenes puede influir positivamente en la memoria, el cálculo matemático y el razonamiento lingüístico, todas ellas consideradas variables clave para el desarrollo académico de los adolescentes (Huang et al., 2015; Muntaner-Mas,

Palou, Vidal-Conti y Esteban-Cornejo, 2018; Ruiz-Ariza, de la Torre-Cruz, Suárez-Manzano y Martínez-López, 2017a; Ruiz-Ariza, Casuso, Suarez-Manzano y Martínez-López, 2018). También, se ha relacionado con la creatividad, llegando a mostrar en jóvenes más altos niveles de pensamiento divergente (Torrance, 1966). Lo anterior conforma un estilo de pensamiento que da lugar a la generación de ideas novedosas donde es correcta más de una solución ante el mismo problema (Santos, Memmert, Sampaio y Leite, 2016). Además, una alta creatividad se relacionan con menor angustia psicológica y depresión (Corbalán y Limiñana-Gras, 2010) y contribuye notablemente al éxito personal y laboral de una persona (Heilman, 2016). Por tanto, parece que la práctica de AF y nivel de condición física, podría ejercer beneficios a nivel neurocognitivo, e influir en el incremento de la oxigenación cerebral, que podría afectar positivamente a la cognición (Ruiz-Ariza, Grao-Cruces, Marques De Loureiro y Martínez-López, 2017b; Ruiz-Ariza, Suárez-Manzano, López-Serrano y Martínez-López, 2019).

Dentro de la Educación Física (EF), las capacidades físicas son evaluadas habitualmente mediante el empleo de test motores, a veces incluidos en baterías como ALPHA-Fitness (Ruiz et al., 2011) o EUROFIT (1993). Para algunos investigadores, un mejor nivel de condición física podría optimizar las funciones cognitivas y promover un incremento del rendimiento cerebral (Chaddock-Heyman et al., 2014; Huang et al., 2015; Ruiz-Ariza et al., 2017b; Tomporowski, McCullick,

Pendleton y Pesce, 2015). Capacidades como la resistencia cardiorrespiratoria y fuerza muscular parece que influyen positivamente en el rendimiento cognitivo de jóvenes adolescentes, y en menor medida la velocidad y la flexibilidad (Ruiz et al., 2010). Sin embargo, los resultados no son concluyentes y se desconoce la posible influencia de otras variables que se consideran determinantes en la mayor parte de los estudios llevados a cabo en adolescentes como la edad, sexo y el índice de masa corporal [IMC] (Esteban-Cornejo et al., 2014).

En base a los anteriores argumentos, el objetivo del presente estudio fue analizar la asociación de la resistencia cardiorrespiratoria, fuerza muscular, velocidad y flexibilidad con la memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, independientemente de la edad, sexo e IMC en un grupo de adolescentes españoles. Este estudio hipotetizó que los jóvenes con mejor condición física mostrarían mejores niveles de rendimiento cognitivo.

Material y método

Participantes

Un total de 163 adolescentes (78 chicas y 85 chicos) de $13,9 \pm 1,4$ años de edad (rango: 12-16 años) participaron en el presente estudio transversal. Los participantes pertenecían a dos Centros de Educación Secundaria de la provincia de Jaén (España) que fueron seleccionados por conveniencia. Un instituto estaba ubicado dentro de ambiente urbano y el otro pertenecía a una población rural (<10.000 habitantes). Dentro de cada Centro Educativo se seleccionó aleatoriamente un grupo de clase de cada nivel (1º, 2º, 3º y 4º curso). Los datos fueron obtenidos durante tres clases de Educación Física dentro del curso académico 2016-2017. Todos los alumnos de los grupos seleccionados ($n=188$) fueron invitados a participar en el estudio. Sin embargo, los resultados de 25 alumnos (13,3%) fueron excluidos de la muestra final ($n=163$) debido a falta de autorización parental o imposibilidad de llevar a cabo test de condición física. La tabla 1 presenta las características descriptivas de la muestra de estudio.

Tabla 1.
Características descriptivas de la muestra.

Variables	Todos (n = 163)		Chicas (n = 78)		Chicos (n = 85)		p
	Media	DT (%)	Media	DT (%)	Media	DT (%)	
Edad (años)	13,88	1,374	13,64	1,292	14,10	1,417	,002
Peso (kg)	56,84	11,93	54,07	9,16	59,40	13,55	<,001
Talla (m)	1,63	,095	1,59	,064	1,67	,105	<,001
IMC (kg/m ²)	21,27	3,75	21,30	3,47	21,25	4,01	,943
Course Navette	5,82	2,43	4,68	1,27	6,87	2,76	<,001
4x10m (s)	12,42	1,47	13,01	1,34	11,89	1,39	<,001
Salto horizontal (cm)	161,36	32,31	144,3	25,44	176,8	30,13	<,001
Sit-and-Reach (cm)	16,61	8,41	18,18	8,12	15,05	8,71	<,001
Memoria	4,73	1,97	4,60	2,02	4,84	1,92	,262
Cálculomatemático	6,78	3,20	6,44	3,04	7,11	3,33	,052
Razonamientolingüístico	20,90	4,76	20,83	4,75	20,96	4,78	,803
Creatividad	13,39	4,41	13,55	4,37	13,23	4,45	,507

Los datos se presentan como media (DT) y desviación típica (DT). IMC = Índice de Masa Corporal.

Procedimiento

Antes de comenzar el estudio, los padres, dirección del Centro y profesores de EF fueron informados del propósito del mismo. Se obtuvo el consentimiento informado de los padres o tutores legales. El nombre de cada alumno participante fue codificado para asegurar el anonimato y confidencialidad. Las mediciones de las pruebas de condición física y de rendimiento cognitivo, fueron realizadas en

las clases de EF por miembros instruidos del grupo de investigación y bajo la supervisión del profesor de EF. Todas ellas siguieron los protocolos estandarizados mostrados en las publicaciones que las han usado previamente. El estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Jaén. Además, se tuvo en cuenta la Ley de Investigación Biomédica (2007), la ley de protección de datos personales (Ley Orgánica 15/1999), así como los principios fundamentales de la Declaración de Helsinki (revisión de 2013).

Variable predictora: Nivel de condición física

El nivel de condición física se evaluó mediante la batería de test físicos relacionados con la salud en jóvenes ALPHA-Fitness (Ruiz et al., 2011). La resistencia cardiorrespiratoria fue evaluada mediante el test de 20 m de ida y vuelta (Course navette). Este test consiste en una prueba incremental de ida y vuelta sobre una distancia de 20 m, aumentando la velocidad en 0.5 km/h cada minuto. Los participantes debían correr entre dos líneas delimitadas a 20 m de distancia al ritmo que marcaba las señales sonoras. El test parte con una velocidad inicial de 8.5 km/h y se da por finalizado cuando el sujeto se detiene por el cansancio acumulado o cuando no llega a la línea correspondiente en dos ocasiones consecutivas. En cada participante se registró el número de periodos superados al finalizar la prueba. Este test, se realizó una única vez al final de la sesión de toma de datos. El test de ida y vuelta 4x10 m fue el utilizado para medir la velocidad-agilidad de movimiento. Los participantes realizaron 4 carreras de ida y vuelta a máxima velocidad sobre una distancia de 10 m. Se llevó a cabo el test dos veces y se registró el mejor tiempo en segundos de ambas carreras. La puntuación obtenida en este test se debe interpretar de forma inversa, es decir, cuantos más segundos empleados en completar el test menor velocidad motora. La fuerza muscular se obtuvo mediante el salto de longitud a dos piernas. La prueba se llevó a cabo con los pies detrás de la línea con las piernas colocadas con una apertura a la altura de los hombros. El test se llevó a cabo dos veces y se registró la mayor distancia en centímetros. Para medir la flexibilidad se realizó la prueba de sit-and-reach (Castro-Piñero et al., 2009). La prueba se realizó con una caja especial de 33 cm con una regla deslizante colocada en la parte superior. Los sujetos se sientan en el suelo con las rodillas extendidas, el ancho de los hombros separados y los pies colocados en contacto con el fondo de la caja. Se pidió a los participantes que doblaran el tronco y extendieran sus brazos hacia adelante lo máximo posible, manteniendo la posición final al menos dos segundos. La prueba se realizó dos veces y el mejor resultado se registró en cm. Las puntuaciones más altas indicaron una mejor flexibilidad (Castro-Piñero et al., 2009).

Variables dependientes

Memoria

Para evaluar la memoria se empleó una prueba *ad hoc* de 1 minuto, a partir de las ideas originales de la prueba de memoria incluidas en la adaptación española de la Escala de inteligencia de Reynolds [RIAS] (Santamaría-Fernández & Fernández-Pinto, 2013). Se proyectó un póster de 15 naipes españoles, seleccionados al azar, durante 20 segundos en

una pantalla de 3 x 2 metros. Inmediatamente después, los participantes tenían 40 segundos para registrar en una hoja estandarizada la mayor cantidad de tarjetas recordadas. Se contó el número total de respuestas correctas (rango 0-15). Antes de la prueba, se verificó que todos los participantes conocían la estructura y el contenido de las 40 cartas de la baraja española. Este test de memoria ha sido también usado previamente en otras recientes investigaciones con una fiabilidad test-retest (48 horas, $n = 21$) de 0.919 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Cálculo Matemático

Se realizó una adaptación de la escala de cálculo matemático llevada a cabo por Hillman et al. (2009). Con esta prueba, se pretendió comprobar la capacidad de procesamiento, velocidad y resolución de operaciones matemáticas. Este test consistía en la presentación de 2 columnas de operaciones matemáticas sencillas basadas en sumas y restas con 6 dígitos. Para realizar la prueba se disponía de un minuto en el cual se debía de resolver el mayor número posible de operaciones. Para evaluar dicha prueba, se cuenta el número de aciertos del total de las operaciones realizadas. Estudios previos muestran una fiabilidad test-retest (48 horas, $n = 21$) de 0.887 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Velocidad de razonamiento lingüístico

La velocidad de razonamiento lingüístico se midió mediante un test *ad hoc* basado en el estudio de Lervåg y Aukrust (2010). El objetivo de esta prueba fue analizar la velocidad lectora y comprensión del alumnado. Ésta prueba consistió en la presentación de 30 filas de 4 palabras cada una establecidas de forma aleatoria. De estas palabras, 3 eran pertenecientes al mismo campo semántico mientras la cuarta palabra no presentaba relación alguna con las otras. Los alumnos que realizaban la prueba debían tachar, durante el periodo de un minuto, el mayor número posible de palabras «intrusas» o que no presentaban relación con las demás. La forma de evaluación del test consistió en la suma de las palabras seleccionadas de forma correcta. Estudios previos muestran una fiabilidad test-retest (48 horas, $n = 21$) de 0.841 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Creatividad

Para evaluar esta variable se utilizó la prueba de inteligencia creativa (CREA) creada por Corbalán-Berná et al. (2010). Esta prueba de pensamiento divergente está dirigida a generar preguntas como indicador de talento creativo, originalidad y efectividad. Estas preguntas se llevan a cabo con un estímulo y un tiempo determinados, donde cada uno de ellos debe respaldarse en un nuevo esquema cognitivo, que a su vez, depende de al menos otros dos. A partir de una imagen, los participantes tienen que elaborar tantas preguntas como sea posible durante 4 minutos. Se asignó un puntaje a cada pregunta según su calidad y complejidad en base a unos criterios establecidos por los autores en el manual del test (puntuajes posibles en base a la elaboración de la pregunta: 1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto). La prueba CREA permite una mejor gestión de los esquemas cognitivos ya que no contempla la pregunta como producto final. La validez predictiva y concurrente de CREA fue alta en comparación con otras

baterías creativas como Guilford ($p < .005$).

Variables de confusión controladas

Para medir el peso se empleó la báscula digital ASIMED® tipo B clase-III (Spain) y para la altura el tallímetro portátil SECA 214 (SECA® Ltd., Hamburgo, Germany). Ambas medidas se usaron para calcular el IMC (expresado en kg/m^2) de los participantes. Además, se controló la edad y el sexo como covariables.

Análisis estadístico

Los datos se presentan como media y desviación típica (DT). Las diferencias entre sexos fueron comparadas mediante la *t* de student. La asociación de la resistencia cardiorrespiratoria, velocidad-agilidad, la fuerza muscular y la flexibilidad (variables predictoras) con la memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad fue analizada mediante regresión lineal múltiple, ajustando por edad, sexo e IMC. Se estudió la interacción entre sexo * cada capacidad física y cada variable dependiente y no se observó interacción significativa (todos $p > 0,05$), por esta razón se llevaron a cabo los análisis con chicos y chicas juntos. El criterio para establecer la significatividad estadística se fijó en $p < ,05$. Se usó el programa estadístico SPSS versión 22.0 para Windows (SPSS Inc., Chicago).

Resultados

La tabla 1 muestra que la resistencia cardiorrespiratoria, velocidad-agilidad y fuerza muscular fueron significativamente superiores en chicos que en chicas ($p < ,05$), sin embargo en la flexibilidad las chicas obtuvieron valores superiores ($p < ,05$). Los chicos mostraron un mayor peso y talla que las chicas (ambos $p < ,001$), pero valores similares de memoria, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad (todos $p > ,05$).

Análisis de regresión lineal entre Course navette y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad

Los resultados de asociación entre capacidad cardiorrespiratoria y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 2. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de capacidad cardiorrespiratoria tenían a su vez mejores niveles de memoria ($\hat{\alpha} = ,197$; error estándar (EE) = ,088; $p = ,027$), de cálculo matemático ($\hat{\alpha} = ,272$; EE = ,128; $p = ,035$), razonamiento lingüístico ($\hat{\alpha} = ,479$; EE = ,193; $p = ,014$) y creatividad ($\hat{\alpha} = ,485$; EE = ,172; $p = ,005$).

Tabla 2.

Asociación entre resistencia cardiorrespiratoria y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p
Edad (años)	-,110	,141	,435	,060	,204	,770	,510	,308	,100	-,214	,274	,434
Sexo	-,074	,384	,847	-,1404	,560	,013	,147	,844	,862	,970	,750	,198
IMC (kg/m^2)	,062	,053	,243	,000	,078	,997	-,050	,118	,674	,105	,105	,317
Capacidad cardiorrespiratoria	,197	,088	,027	,272	,128	,035	,479	,193	,014	,485	,172	,005

Nota: Valor de la beta no estandarizada (β), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal (kg/m^2). La resistencia cardiorrespiratoria fue medida mediante el test Course navette.

Análisis de regresión lineal entre Velocidad-agilidad 4x10 m y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad

Los resultados de asociación entre los valores de velocidad 4x10 y variables cognitivas de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 3. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de velocidad-agilidad no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos $p > ,05$).

Análisis de regresión lineal entre salto horizontal y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad

Los resultados de asociación entre resultados de salto horizontal y variables cognitivas de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 4. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de fuerza de tren inferior no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos $p > ,05$).

Análisis de regresión lineal entre valores de flexibilidad y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad

Los resultados de asociación entre valores de flexibilidad y variables cognitivas de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, ajustadas por edad, sexo e IMC se presentan en la Tabla 5. Los adolescentes que presentaban unos mejores niveles de flexibilidad no se relacionaron con mejoras en ninguna de las variables dependientes analizadas (todos $p > ,05$).

Discusión

El presente trabajo ha analizado la asociación entre el nivel de condición física y variables de rendimiento cognitivo en estudiantes de Educación Secundaria. Los resultados muestran que los adolescentes que tienen mejor capacidad cardiorrespiratoria presentan más altos niveles de memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad. Sin embargo, no se han hallado relaciones significativas en velocidad-agilidad, fuerza muscular y flexibilidad con respecto a las variables cognitivas estudiadas.

Estudios previos analizaron de forma transversal la relación entre el nivel de condición física general y el rendimiento cognitivo en jóvenes, obteniendo en todos ellos resultados positivos (Morales et al., 2011; Planinsec y Pisot, 2006). De forma similar a nuestro estudio, Chen et al. (2013) comprobaron que la resistencia cardiorrespiratoria es la capacidad física que en mayor medida se asocia con la cognición. De una forma más específica, Bass, Brown, Laurson y Coleman (2013), y Huang et al. (2015), encontraron una asociación positiva entre la capacidad cardiorrespiratoria y las puntuaciones en Matemáticas, y Raine, Biggan, Baym, Saliba, Cohen y Hillman (2018) obtuvieron relación positiva respecto a la velocidad de lectura. Los resultados de este estudio son similares a aquellos que también sugirieron una relación positiva entre la capacidad cardiorrespiratoria y mejoras en

Tabla 3.

Asociación entre velocidad y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, tras ajustar por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p
Edad (años)	,113	,143	,430	,173	,206	,402	,651	,311	,038	,001	,278	,996
Sexo	-,774	,381	,044	-,1774	,568	,002	-,310	,858	,719	,274	,767	,722
IMC (kg/m ²)	-,044	,055	,423	-,050	,081	,541	-,106	,122	,388	,008	,109	,945
4x10 (s)	,343	,147	,211	-,101	,211	,635	-,375	,319	,242	-,110	,285	,700

Nota: Valor de la beta no estandarizada (β), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal (kg/m²). Esta variable fue medida mediante el test de Velocidad-agilidad 4x10 m.

Tabla 4.

Asociación entre fuerza muscular y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, tras ajustar por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p
Edad (años)	,021	,146	,886	,153	,210	,468	,528	,314	,095	-,141	,281	,616
Sexo	-,530	,404	,192	-,1693	,592	,005	,169	,886	,849	,808	,793	,310
IMC (kg/m ²)	,003	,054	,956	-,045	,079	,568	-,070	,119	,555	,062	,106	,561
Salto horizontal	-,004	,007	,592	,007	,010	,504	,031	,015	,099	,023	,013	,089

Nota: Valor de la beta no estandarizada (β), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal (kg/m²). Nota: La Fuerza muscular fue medida con el test de Salto horizontal.

Tabla 5.

Asociación entre la flexibilidad y memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad, tras ajustar por edad, sexo e IMC

	Memoria			Cálculo matemático			Razonamiento lingüístico			Creatividad		
	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p	β	EE	p
Edad (años)	,031	,156	,576	,161	,191	,438	,418	,2143	,125	-,121	,272	,609
Sexo	-,527	,394	,182	-,1681	,572	,004	,156	,866	,839	,788	,783	,304
IMC (kg/m ²)	,013	,064	,856	-,047	,077	,558	-,080	,129	,545	,063	,116	,569
Flexibilidad	-,014	,017	,691	,011	,013	,521	,028	,019	,089	,013	,020	,101

Nota: Valor de la beta no estandarizada (β), error estándar (EE), IMC = índice de masa corporal (kg/m²). Nota: La Flexibilidad fue medida con el test Sit-and-reach.

el cálculo matemático y en la resolución de problemas de aritmética (Moore et al., 2014), así como con mayor riqueza de palabras y sus significados, lo que determina un mayor nivel y control del lenguaje (Scudder et al., 2014). En el caso de este trabajo, se confirmaría que la anterior asociación positiva se produce independientemente de la edad, sexo e IMC de los adolescentes. En esta línea, Muntaner-Mas et al. (2018), muestran que la condición física afecta al rendimiento académico independientemente del nivel de obesidad. Por su parte, Åberg et al. (2009) llevaron a cabo un estudio con más de un millón de participantes, donde hallaron que la capacidad cardiorrespiratoria, alcanzada entre los 15-18 años, predecía la capacidad lógico-verbal al superar la mayoría de edad. Otros estudios como el de Durán y Costes (2018), mostró también la relación entre mayor práctica de AF e inteligencia emocional. Por tanto, esta relación positiva entre resistencia cardiorrespiratoria y cognición en jóvenes viene a complementar anteriores hallazgos que confirmaban la relación entre la práctica de AF diaria y cognición. Trabajos longitudinales con intervención de Budde et al. (2008) y Hogan et al. (2013), obtuvieron que realizar ejercicio aeróbico moderado tenía efectos positivos sobre el rendimiento cognitivo. Asimismo, incluir carreras aeróbicas interválicas en EF ejerce una influencia positiva en la velocidad numérica y resolución de problemas matemáticos simples (Travlos, 2010). Y finalmente, programas de AF cooperativa a alta intensidad durante 12 semanas en las clases de EF han mostrado mejoras en la creatividad, especialmente en los jóvenes adolescentes menos activos físicamente (Ruiz-Ariza et al., 2019). Todo lo anterior confirma que, especialmente desde la EF, se debe incluir programas sistemáticos para aumentar tanto la frecuencia semanal de práctica como el nivel de resistencia cardiorrespiratoria.

Por otra parte, este estudio no halló resultados significativos de asociación entre la velocidad-agilidad y la cognición. Estos resultados difieren de los hallados por Esteban-Cornejo et al. (2014), Torrijos-Niño et al. (2014), o Martínez-

López, Grao-Cruces, De la Torre-Cruz y Ruiz-Ariza, (2019), que sí obtuvieron relación entre la velocidad-agilidad y el rendimiento escolar en Matemáticas o Lengua. Otros estudios han demostrado también que este componente se asocia con la memoria (Niederer et al., 2011), con el control inhibitorio y la atención (Haapala, 2013). Consecuentemente, déficits en la variable de velocidad-agilidad son a menudo asociados con trastornos cognitivos y de aprendizaje (Haapala, 2013). Por tanto, un escaso nivel de actividad motora podría contribuir negativamente al desarrollo cognitivo y a una empeoramiento del rendimiento académico (Kantomaa et al., 2013). Nuestro trabajo tampoco halló resultados significativos con respecto a la fuerza muscular. El análisis comparativo de estos resultados coincide solo en parte con respecto a investigaciones previas. Mientras algunos estudios transversales comprobaron que la fuerza se asociaba con el rendimiento académico escolar (Bezold et al., 2014; Van Dusen et al., 2011), otros no hallaron relación (Chen et al., 2013). También se ha comprobado que la fuerza perdía la asociación con el rendimiento en Matemáticas y Lengua cuando se analizaba de forma combinada junto a la capacidad cardiorrespiratoria y velocidad-agilidad (Esteban-Cornejo et al., 2014). Por otra parte, estudios longitudinales no mostraron relación entre la fuerza y el rendimiento cognitivo (Arday et al., 2014). Y en la misma línea, mejoras en fuerza entre los 15 y los 18 años no predijeron la inteligencia global a los 18 años (Aberg et al., 2009). Respecto a la flexibilidad, dos revisiones sistemáticas independientes llevadas a cabo por Ruiz-Ariza et al. (2017b) y Santana et al. (2017), mostraron que no existe asociación entre esta capacidad física y variables cognitivas. De este modo, tanto la velocidad-agilidad como la fuerza muscular presentan controversia con respecto a su relación con aspectos cognitivos en jóvenes. Mientras que los estudios que analizan la flexibilidad coinciden en su no efecto sobre los mismos.

Las posibles causas de la asociación entre un mejor rendimiento cardiorrespiratorio y variables cognitivas como memoria, cálculo matemática, velocidad de razonamiento lingüístico o creatividad no pueden ser descritas a partir de los resultados del presente estudio. Sin embargo, existen algunos razonamientos que pueden esclarecer nuestros hallazgos. Por ejemplo, un aumento de la capacidad cardiorrespiratoria podría estimular la angiogénesis, neurogénesis y sinaptogénesis, mejorando la vascularización cerebral, o el número de neuronas, afectando a la cognición (Ruiz-Ariza et al., 2017b). Un mejor fitness puede provocar la acumulación de D-bhidroxibutirato en el hipocampo que sirve como fuente de energía e inductor de BDNF, que es clave para la capacidad memorística y el funcionamiento cerebral (Sleiman et al., 2016). En este sentido, un fomento de la capacidad cardiorrespiratoria desde los estamentos educativos, durante la adolescencia, podría ser clave para el incremento del rendimiento cognitivo. Sin embargo, la relación entre velocidad-agilidad, fuerza, flexibilidad y las variables cognitivas, aún no está clara y presenta controversia que puede ser explicada por varios factores: a) La influencia colateral de los demás componentes del fitness cuando se analizan de forma conjunta, b) El uso de test variados para medir las variables (Torrijos-Niño et al., 2014), c) Los distintos tamaños en las muestras empleadas (Chen et al., 2013), y d) El programa y

estímulo planteado, método, y de forma muy especial, las covariables controladas (Chen et al., 2013; Esteban-Cornejo et al., 2014).

En base a lo anterior, algunas implicaciones educativas que se pueden extraer sería la aplicación de programas específicos en las clases de EF enfocados al fomento de la condición física de los jóvenes. Además, desde los estamentos educativos debería incentivarse la práctica de AF extraescolar, y animar a los padres a la promoción de esta en sus hijos durante la adolescencia. Asimismo, un control individualizado de la condición física de los jóvenes desde la asignatura de EF, podría ayudar personalizar los programas, así como a proponer «deberes» escolares destinados a la mejora de la condición física de cada alumno.

Por último, este trabajo no está exento de algunas limitaciones. Por ejemplo, su naturaleza transversal hace que no puedan ser establecidas relaciones de causalidad. Además, se podrían haber controlado más covariables de carácter socioeconómico o educativo para evitar el sesgo en los análisis. En algunos casos, los adolescentes podrían haber contestado a los test cognitivos erróneamente, de forma deliberada o sin mala intención. Consideramos que estos errores se han reducido notablemente por el hecho de que los cuestionarios eran anónimos y se ha utilizado la codificación para asegurar el anonimato y confidencialidad de los participantes y las respuestas emitidas. No obstante, el empleo de test validados de condición física y la inclusión de variables dependientes novedosas son puntos fuertes a destacar del presente estudio.

Conclusiones

Se concluye que una alta resistencia cardiorrespiratoria se asocia con una mayor memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad en los adolescentes, independientemente de la edad, sexo e IMC. Estas asociaciones no se hallaron en la velocidad-agilidad, fuerza y flexibilidad. Se sugiere, que desde la EF se implementen programas específicos para incrementar el nivel de capacidad cardiorrespiratoria con prácticas sistemáticas especialmente durante el periodo extraescolar.

Referencias

- Aberg, M. A. I., Pedersen, N. L., Torén, K., Svartengren, M., Bäckstrand, B., Johnsson, T., ... Kuhn, H. G. (2009). Cardiovascular fitness is associated with cognition in young adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 106(49), 20906–11. <https://doi.org/10.1073/pnas.0905307106>
- Arday, D. N., Fernández-Rodríguez, J. M., Jiménez-Pavón, D., Castillo, R., Ruiz, J. R., & Ortega, F. B. (2014). A physical education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: the EDUFIT study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), e52–61. <https://doi.org/10.1111/sms.12093>
- Bass, R. W., Brown, D. D., Laurson, K. R., & Coleman, M. M. (2013). Physical fitness and academic performance in middle school students. *Acta Paediatrica*, 102(8), 832–7. <https://doi.org/10.1111/apa.12278>

- Bezold, C. P., Konty, K. J., Day, S. E., Berger, M., Harr, L., Larkin, M., ... Stark, J. H. (2014). The effects of changes in physical fitness on academic performance among New York City youth. *The Journal of Adolescent Health* / Official Publication of the Society for Adolescent Medicine, 55(6), 774–81. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2014.06.006>
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraßyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441(2), 219–223. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2008.06.024>
- Castro-Piñero, J., Artero, E. G., España-Romero, V., Ortega, F. B., Sjöström, M., Suni, J., ... Ruiz, J. R. (2010). Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 934–43. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2009.058321>
- Castro-Piñero, J., Chillón, P., Ortega, F. B., Montesinos, J. L., Sjöström, M., & Ruiz, J. R. (2009). Criterion-Related Validity of Sit-and-Reach and Modified Sit-and-Reach Test for Estimating Hamstring Flexibility in Children and Adolescents Aged 6–17 Years. *International Journal of Sports Medicine*, 30(09), 658–662. <https://doi.org/10.1055/s-0029-1224175>
- Chaddock-Heyman, L., Erickson, K. I., Holtrop, J. L., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., ... Kramer, A. F. (2014). Aerobic fitness is associated with greater white matter integrity in children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8, 584. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00584>
- Chen, L. J., Fox, K. R., Ku, P. W., & Taun, C. Y. (2013). Fitness change and subsequent academic performance in adolescents. *The Journal of School Health*, 83(9), 631–8. <https://doi.org/10.1111/josh.12075>
- Corbalán-Berná, J., & Limiñana-Gras, R. M. (2010). El genio en una botella. El test CREA, las preguntas y la creatividad. Introducción al monográfico «El test CREA, inteligencia creativa. *Anales de psicología*, 26(2), 197–205. <https://revistas.um.es/analesps/article/view/108981>
- Duran, C., & Costes, A. (2018). Efecto de los juegos motores sobre la toma de conciencia emocional. *Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*, 18(70), 227–245.
- Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Martínez-Gómez, D., Del-Campo, J., González-Galo, A., Padilla-Moledo, C., ... Veiga, O. L. (2014). Independent and combined influence of the components of physical fitness on academic performance in youth. *The Journal of Pediatrics*, 165(2), 306–312.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.04.044>
- Eurofit (1993). Eurofit Tests of Physical Fitness (2ª ed.). Strasbourg: Committee of Experts on Sports Research.
- Haapala, E. (2013). Cardiorespiratory fitness and motor skills in relation to cognition and academic performance in children - a review. *Journal of Human Kinetics*, 36(3), 55–68. <https://doi.org/10.2478/hukin-2013-0006>
- Heilman, K. M. (2016) Possible brain mechanisms of creativity. *Archives of Clinical Neuropsychology* 31(4), 285–296. <https://doi.org/10.1093/arclin/acw009>
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044–1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>
- Hogan, M., Kiefer, M., Kubesch, S., Collins, P., Kilmartin, L., & 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>
- Huang, T., Tarp, J., Domazet, S. L., Thorsen, A. K., Froberg, K., Andersen, L. B., & Bugge, A. (2015). Associations of Adiposity and Aerobic Fitness with Executive Function and Math Performance in Danish Adolescents. *The Journal of Pediatrics*, 167(4), 810–815. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2015.07.009>
- Kantamäa, M. T., Stamatakis, E., Kankaanpää, A., Kaakinen, M., Rodriguez, A., Taanila, A., ... Tammelin, T. (2013). Physical activity and obesity mediate the association between childhood motor function and adolescents' academic achievement. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(5), 1917–22. <https://doi.org/10.1073/pnas.1214574110>
- Kujala, U. M. (2018). Is physical activity a cause of longevity? It is not as straightforward as some would believe. A critical analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 52(14), 914–918. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2017-098639>
- Lervåg, A., & Aukrust, V. G. (2010). Vocabulary knowledge is a critical determinant of the difference in reading comprehension growth between first and second language learners. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(5), 612–620. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02185.x>
- Martínez-López, E. J., Moreno-Cerceda, J., Suárez-Manzano, S., & Ruiz-Ariza, A. (2018). Effect of and satisfaction with a program of physical activity controlled through heart rate monitors on body mass index in young students with overweight-obesity. *Retos*, 33, 179–184.
- Martínez-López, E. J., Grao-Cruces, A., De la Torre-Cruz, M. J., & Ruiz-Ariza, A. (2019). Associations of physical fitness with academic performance in teenagers. *South African Journal for Research in Sport, Physical Education and Recreation*, 40(1).
- Moore, R. D., Drollette, E. S., Scudder, M. R., Bharij, A., & Hillman, C. H. (2014). The influence of cardiorespiratory fitness on strategic, behavioral, and electrophysiological indices of arithmetic cognition in preadolescent children. *Frontiers in Human Neuroscience*, 8(MAY), 258. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2014.00258>
- Morales, J., González, L. M., Guerra, M., Virgili, C., & Unnithan, V. (2011). Physical activity, perceptual-motor performance, and academic learning in 9-to-16-years-old school children. *International Journal of Sport Psychology*, 42(4), 401–415. <https://www.researchgate.net/publication/272157048>
- Muntaner-Mas, A., Palou, P., Vidal-Conti, J., & Esteban-Cornejo, I. (2018). A Mediation Analysis on the Relationship of Physical Fitness Components, Obesity, and Academic Performance in Children. *The Journal of Pediatrics*, 198,

- 90-97.e4. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2018.02.068>
- Niederer, I., Kriemler, S., Gut, J., Hartmann, T., Schindler, C., Barral, J., & Puder, J. J. (2011). Relationship of aerobic fitness and motor skills with memory and attention in preschoolers (Ballabeina): A cross-sectional and longitudinal study. *BMC Pediatrics*, 11(1), 34. <https://doi.org/10.1186/1471-2431-11-34>
- Ortega, F. B., Ruiz, J. R., Castillo, M. J., & Sjörström, M. (2008). Physical fitness in childhood and adolescence: a powerful marker of health. *International Journal of Obesity* (2005), 32(1), 1–11. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803774>
- Ortega, F. B., Silventoinen, K., Tynelius, P., & Rasmussen, F. (2012). Muscular strength in male adolescents and premature death: cohort study of one million participants. *BMJ (Clinical Research Ed.)*, 345, e7279. <https://doi.org/10.1136/bmj.e7279>
- Planinsec, J., & Pisot, R. (2006). Motor coordination and intelligence level in adolescents. *Adolescence*, 41(164), 667–76.
- Raine, L. B., Biggan, J. R., Baym, C. L., Saliba, B. J., Cohen, N. J., & Hillman, C. H. (2018). Adolescent changes in aerobic fitness are related to changes in academic achievement. *Pediatric Exercise Science*, 30(1), 106–114. <https://doi.org/10.1123/pes.2015-0225>
- Ruiz, J. R., Castro-Pinero, J., España-Romero, V., Artero, E. G., Ortega, F. B., Cuenca, M. M., ... Castillo, M. J. (2011). Field-based fitness assessment in young people: the ALPHA health-related fitness test battery for children and adolescents. *British Journal of Sports Medicine*, 45(6), 518–524. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsm.2010.075341>
- Ruiz, J. R., Ortega, F. B., Castillo, R., Martín-Matillas, M., Kwak, L., Vicente-Rodríguez, G., ... Moreno, L. A. (2010). Physical activity, fitness, weight status, and cognitive performance in adolescents. *The Journal of Pediatrics*, 157(6), 917–922.e1–5. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2010.06.026>
- Ruiz-Ariza, A., Casuso, R. A., Suarez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Effect of augmented reality game Pokémon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers and Education*, 116, 49–63. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.002>
- Ruiz-Ariza, A., de la Torre-Cruz, M. J., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2017a). Active commuting to school influences on academic performance of Spanish adolescent girls. *Retos*, 32, 39–43.
- Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., Marques De Loureiro, N. E., & Martínez-López, E. J. (2017b). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1). <http://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184699>
- Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., López-Serrano, S., & Martínez-López, E. J. (2019). The effect of cooperative high-intensity interval training on creativity and emotional intelligence in secondary school. *European Physical Education Review*, 25(2), 355–373. <https://doi.org/10.1177/1356336X17739271>
- Santamaría-Fernández, P., & Fernández-Pinto, I. (2013). *Adaptación española de RIAS. Reynolds Intellectual Assessment Scales*. Madrid: TEA Ediciones.
- Santana, C. C. A., Azevedo, L. B., Cattuzzo, M. T., Hill, J. O., Andrade, L. P., & Prado, W. L. (2017). Physical fitness and academic performance in youth: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(6), 579–603. <https://doi.org/10.1111/sms.12773>
- Santos, S. D. L., Memmert, D., Sampaio, J., & Leite, N. (2016). The spawns of creative behavior in team sports: A creativity developmental framework. *Frontiers in Psychology*, 7, 1282. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01282>
- Scudder, M. R., Federmeier, K. D., Raine, L. B., Direito, A., Boyd, J. K., & Hillman, C. H. (2014). The association between aerobic fitness and language processing in children: implications for academic achievement. *Brain and Cognition*, 87, 140–52. <https://doi.org/10.1016/j.bandc.2014.03.016>
- Sleiman, S. F., Henry, J., Al-Haddad, R., El Hayek, L., AbouHaidar, E., Stringer, T., ... Chao, M. V. (2016). Exercise promotes the expression of brain derived neurotrophic factor (BDNF) through the action of the ketone body α -hydroxybutyrate. *ELife*, 5, e15092. <http://doi.org/10.7554/eLife.15092>
- Tomprowski, 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>
- Torrance, P. E. (1966). *Torrance tests of creative thinking*. New Jersey: Personnel Press.
- Torrijos-Niño, C., Martínez-Vizcaino, V., Pardo-Guijarro, M. J., García-Prieto, J. C., Arias-Palencia, N. M., & Sánchez-López, M. (2014). Physical fitness, obesity, and academic achievement in school children. *The Journal of Pediatrics*, 165(1), 104–9. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.02.041>
- Travlos, A. K. (2010). High intensity physical education classes and cognitive performance in eighth grade students: An applied study. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 8(3), 302–311. <https://doi.org/10.1080/1612197X.2010.9671955>
- Van Dusen, D. P., Kelder, S. H., Kohl, H. W., Ranjit, N., & Perry, C. L. (2011). Associations of physical fitness and academic performance among schoolchildren. *Journal of School Health*, 81(12), 733–740. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2011.00652.x>



Influencia de programas de entrenamiento de alta intensidad en el rendimiento cognitivo y académico de adolescentes: una revisión sistemática desde 2005-2019

Mezcua-Hidalgo, Martínez-López, E.J., López-Serrano, S., & Ruiz-Ariza, A. (2020).

EmásF. Revista Digital de Educación Física
(under review)



Revista Digital de Educación Física

ISSN: 1989-8304 D.L.: J 864-2009

INFLUENCIA DE PROGRAMAS DE ENTRENAMIENTO DE ALTA INTENSIDAD EN EL RENDIMIENTO COGNITIVO Y ACADÉMICO DE ADOLESCENTES: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA DESDE 2005-2019

Alberto Mezcua-Hidalgo

Profesor de Educación Física de Educación Secundaria. Andalucía, España.
Email: Alberto.mezcuahidalgo@gmail.com

Emilio J. Martínez-López

Profesor Titular de la Universidad de Jaén. Jaén, España.
Email: emilioml@ujaen.es

Sebastián López-Serrano

Profesor de la Universidad de Jaén. Jaén, España
Email: lserran@ujaen.es

Alberto Ruiz-Ariza

Profesor de la Universidad de Jaén. Jaén, España
Email: arariza@ujaen.es

RESUMEN

Antecedentes: El objetivo de esta revisión sistemática fue investigar los efectos de programas de entrenamiento de alta intensidad en el rendimiento cognitivo (RC) y académico (RA) en adolescentes. **Método:** Los estudios se identificaron en dos bases de datos (PudMed y Scopus) desde enero de 2015 hasta el 28 de febrero de 2019. Tras el filtro, y según los criterios de búsqueda, se seleccionaron 7 estudios de intervención utilizando programas de alta intensidad (HIIT) o alta intensidad cooperativa (C-HIIT). **Resultados:** Esta revisión ha mostrado un efecto positivo de realizar HIIT o C-HIIT sobre variables cognitivas y académicas en adolescentes. **Conclusión:** Se sugiere la implantación de programas activos de alta intensidad, especialmente de carácter cooperativo, en el contexto escolar.

PALABRAS CLAVE:

HIIT; C-HIIT; Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad; Rendimiento Cognitivo; Educación Física.

INTRODUCCIÓN

En los últimos 30 años, la evidencia científica con respecto a los beneficios de la práctica de actividad física (AF) está siendo ampliamente estudiada (Blair et al., 1989). Buena parte de estos estudios se han centrado en analizar los efectos de la AF en el rendimiento cognitivo (RC) y académico (RA) de los jóvenes (Keeley y Fox, 2009). Revisiones sistemáticas recientes sugieren que la AF tiene una relación positiva con el RC y RA (Ruiz-Ariza et al., 2017; Li et al., 2017), sin embargo, son escasos los estudios de revisión que analizan los efectos de programas de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT), como medio de AF para influir en variables cognitivas y de RA. Este método cobra especial importancia por su gran capacidad para maximizar los efectos del poco tiempo disponible para la práctica de AF (Costigan et al., 2016). Dentro de la Educación Física (EF), el HIIT se propone como herramienta para, a través de programas de cortos periodos de tiempo y sin tener que renunciar a los contenidos del currículo educativo, potenciar las insuficientes horas de esta asignatura en el sistema educativo actual (Martínez-López et al., 2018).

Recientemente, el entrenamiento HIIT ha sido objeto de modificaciones y adaptaciones según su campo de aplicación. En el contexto escolar han proliferado los estudios de carácter cooperativo caracterizados por favorecer la motivación, promover el juego continuo, mejorar la autoeficacia y aumentar los comportamientos pro-sociales (Marker y Staiano, 2015). De esta forma, surge el concepto del HIIT Cooperativo (C-HIIT), en el que se proponen programas de entrenamiento en intervalos de alta intensidad trabajando en parejas o grupo para añadir el componente social al HIIT tradicional (Martínez-López et al., 2018; Mezcua-Hidalgo et al., 2019). En la última década han proliferado estudios que ponen de manifiesto la importancia de este tipo de programas para mejorar aspectos cognitivos (Martínez-López et al., 2018; Mezcua-Hidalgo et al., 2019; Ruiz-Ariza et al., 2019).

En recientes trabajos, se puede observar como el HIIT afecta tanto a corto como a largo plazo en la cognición de los jóvenes (Costigan et al., 2016; Ma et al., 2015). Del mismo modo, los estudios más actuales incorporando C-HIIT, muestran como la incorporación del estímulo cooperativo, tanto a corto (Mezcua-Hidalgo et al., 2019) como a largo plazo (12 semanas de intervención), puede también afectar positivamente a variables como la atención, concentración, cálculo matemático o la creatividad (Martínez-López et al., 2018; Ruiz-Ariza et al., 2019).

A pesar de lo anterior, desconocemos la existencia de trabajos de revisión que engloben ambos métodos (HIIT y C-HIIT) y sus efectos sobre el RC y el RA. En base a lo argumentado, el objetivo de la presente revisión sistemática fue analizar los efectos de estudios de intervención basados en HIIT y C-HIIT sobre variables de RC y RA en jóvenes. Hipotetizamos que la realización de este tipo de programas puede contribuir de forma favorable al rendimiento escolar.

MÉTODO

Se trata de un estudio de revisión diseñado en base a la estructura marcada por otras revisiones sistemáticas previas (Castro-Piñero et al., 2010; Esteban-Cornejo et al., 2015; Ruiz-Ariza et al., 2017) y el tratamiento utilizado por la guía PRISMA (Moher et al., 2009).

■ Límites de búsqueda

Se llevó a cabo una búsqueda en 2 bases de datos (PubMed y Scopus) teniendo en cuenta todas las publicaciones desde el 1 de enero de 2005 hasta el 28 de febrero de 2019. Se revisaron las listas de referencias de los trabajos seleccionados. Las principales categorías de términos de búsqueda se identificaron y utilizaron en diferentes combinaciones (tabla 1).

Se extrajeron de todos los estudios información sobre el autor, el título, el objetivo, el tamaño de la muestra, la edad, el año de estudio, el país, el diseño, la medida de aptitud física, la medición de CP y AP, los factores de confusión y los principales resultados / conclusiones.

Tabla 1:
Criterios de Búsqueda.

Database	Search Strategy	Limits	Filter	Total articles selected
PubMed	("HIIT" OR "C-HIIT" OR "High Intensity Interval Training") AND ("physical activity" OR "physical fitness" OR "physical education" OR "fitness") AND ("cognitive performance" OR "cognition" OR "academic performance" OR "memory" OR "attention" OR "creativity" OR "school performance") AND ("teenager" OR "adolescent" OR "child")	Publication date from 2005/01/01 to 2019/02/28 Ages: child: birth-18 years; adolescent: 13-18 years	7 items filtered	3 articles selected for review
Scopus	"HIIT" OR "C-HIIT" OR "High Intensity Interval Training" AND "physical activity" OR "physical fitness" OR "physical education" OR "fitness" AND "cognitive performance" OR "cognition" OR "academic performance" OR "memory" OR "attention" OR "creativity" AND "teenager" OR "adolescent" OR "child" OR "childhood"	Publication date from 2005 to 2019 Ages: child: birth-18 years	9 items filtered.	3 articles selected for review

La evaluación de la calidad de la pregunta se realizó sobre la base de otras listas de evaluación estandarizadas (Castro-Piñero et al., 2010, Ruiz et al., 2010) y sobre nuestros criterios de selección. La lista incluyó 6 ítems (A-F) en revistas revisadas por pares, población, medidas, diseño, factores de confusión e informe de los resultados. Cada ítem fue calificado como '2' (informado íntegramente), '1' (informado moderadamente) o '0' (no informado o poco claro). Para todos los estudios, se calculó un puntaje de calidad total contando el número de ítems positivos (una puntuación total entre 0 y 12). Se construyeron tres niveles de evidencia. Los estudios se definieron como de alta calidad (AC) si tenían una puntuación total de 9 o superior. Una puntuación total de 5 a 8 fue definida como de calidad media (MC), y una puntuación de menos de 5 se definió como de baja calidad (BC) (ver tabla 2).

Tabla 2:
Artículos seleccionados con su puntuación de calidad.

Autores y Variables Cognitivas	A	B	C	D	E	F	Puntuación Total	Nivel de Calidad
Mezcua-Hidalgo et al. (2019). Mem, AS, Con	2	2	2	2	2	2	12	AC
Costigan et al. (2016). FE, BP, EP, ACF	2	2	2	2	2	2	12	AC
Martínez-López et al. (2018). Mem, AS, Con, CM, RL	2	2	2	2	2	2	12	AC
Mebler et al. (2016). AE, At	1	2	1	1	2	2	9	AC
Stenman et al. (2017). VR, Mem, At	2	2	2	1	2	2	11	AC
Arday et al. (2014). RAbs, CM, RL, CE	2	2	2	2	2	2	12	AC
Ruiz-Ariza et al. (2019). Mem, AS, Con	2	2	2	2	2	2	12	AC

Mem = memoria, AS = Atención Selectiva, Con = Concentración, FE = Función Ejecutiva, BP = Bienestar Psicológico, EP = Estrés Psicológico, ACF = Autoconcepto Físico, CM = Cálculo Matemático, At = Atención RL = Razonamiento Lingüístico, VR = Velocidad de Razonamiento, CE = Capacidad Espacial, RAbs = Razonamiento Abstracto.

A = El estudio fue un informe de texto completo publicado en una revista por pares,

B = La población de estudio fue sana,

C = Los resultados seleccionados de aptitud física, cognitiva y rendimiento académico se describieron claramente,

D = La población era adolescentes de secundaria entre 12-16 años,

E = El estudio tuvo un diseño transversal, longitudinal o intervencionista,

F = Los datos se ajustaron por factores de confusión.

RESULTADOS

■ Hallazgos generales

El flujo de resultados de búsqueda a través del proceso de revisión sistemática se muestra en la Figura 1. Después de la eliminación de duplicados y los excluidos en el título o a nivel de resumen un total de 16 artículos fueron recuperados. Estos estudios potenciales se revisaron según los criterios de selección, sobre la base de los cuales se excluyeron un total de 8 artículos. Finalmente, se incluyeron 7 artículos en la revisión sistemática.

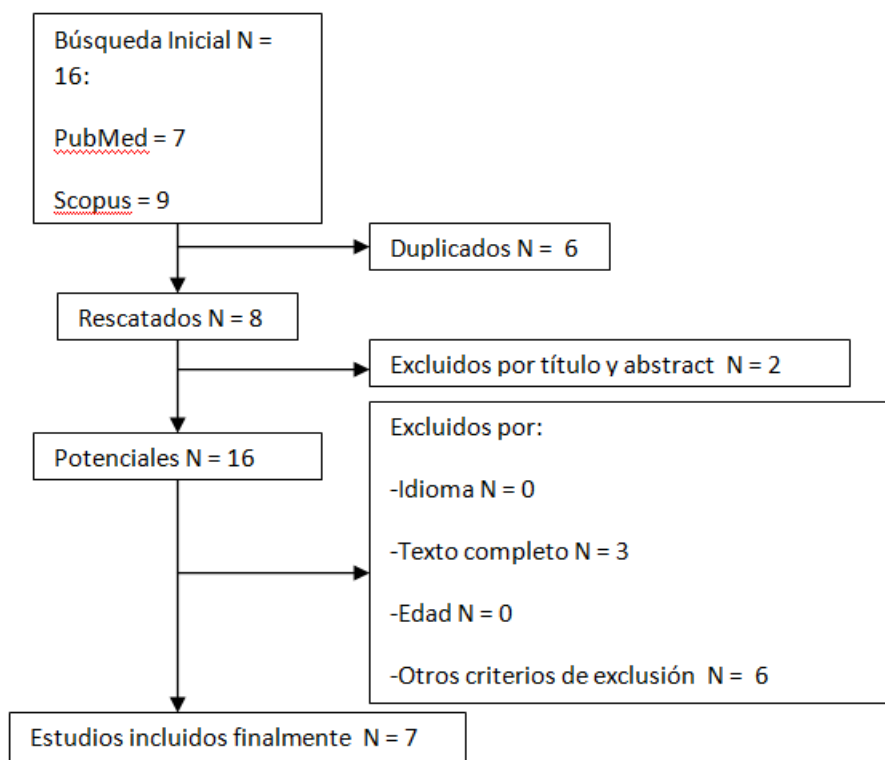


Figura 1. Flujo de artículos a partir del proceso de búsqueda.

En la tabla 3, se pueden observar los estudios seleccionados para esta revisión sistemática. Todos los artículos analizados tienen en común la implantación de programas de entrenamiento utilizando HIIT o C-HIIT en jóvenes. Los resultados atienden a distintas mejoras en variables cognitivas tras la intervención de cada trabajo.

Los 7 artículos seleccionados en esta revisión sistemática son de carácter longitudinal (Mezcua-Hidalgo et al., 2019; Costigan et al., 2016; Martínez-López et al., 2018; Mebler et al., 2016; Stenman et al., 2017; Ardoy et al., 2014; Ruiz-Ariza et al., 2019). De entre todos los estudios, 5 de ellos (71,43%) (Mezcua-Hidalgo et al., 2019; Costigan et al., 2016; Martínez-López et al., 2018; Ardoy et al., 2014; Ruiz-Ariza et al., 2019) tienen una muestra controlada aleatorizada compuesta por adolescentes de entre 12-16 años, que es la que comprende por norma general la edad de la Educación Secundaria Obligatoria (ESO) en España. En el trabajo de Meber et al. (2016), empleó una muestra que comprende preadolescentes en edades entre 8-13 años, mientras que el estudio de Stenman et al. (2017) incluyó a jóvenes adultos de edades comprendidas entre 17-20 años.

■ Efectos sobre el rendimiento cognitivo y rendimiento académico

Mezcua-Hidalgo et al. (2019), Martínez-López et al. (2018) y Ruiz-Ariza et al. (2019) utilizaron como variables cognitivas la memoria a través de la prueba ad hoc de un minuto basada en otras ideas originales. La atención selectiva y la capacidad de concentración se evaluaron bajo estrés inducido por un tiempo de finalización utilizando la prueba d2 de Brickenkamp en la versión en español (Seisdedos, 2012). Costigan et al. (2016) valoraron la función ejecutiva mediante el “Trail Make Test” (TMT). Dentro de la función ejecutiva, se incluían las variables cognitivas como la

atención visual, velocidad de procesamiento de información o la creatividad. El bienestar psicológico, se comprobó mediante la escala floreciente, resumida a partir de ocho ítems del éxito autopercebido del encuestado en áreas tales como relaciones, autoestima, propósito y optimismo. El estrés psicológico se midió con el test “The Kessler Psychological Distress Scale (K10). Este cuestionario está destinado a medir la angustia basada en preguntas sobre ansiedad y síntomas depresivos que una persona ha sufrido durante las últimas 4 semanas. Finalmente, para el autoconcepto físico se utilizó el cuestionario de autodescripción física validado para adolescentes (Marsh, 1996).

Martínez-López et al. (2018) y Ruiz-Ariza et al. (2019), además de las variables anteriores, también analizaron el cálculo matemático y el razonamiento lingüístico a través de diversos tests ad hoc (Ruiz-Ariza et al., 2018). Mebler et al. (2016) utilizó como instrumentos de medida la versión alemana del cuestionario de trastorno hiperactivo para evaluación externa por parte de los supervisores (FBB-HKS), la versión alemana del cuestionario del trastorno hiperactivo para la autoevaluación de los niños (SBB-HKS) y el KINDL-R, este último basado en cuestionarios de salud mental y calidad de vida relacionada con la salud. Stenman et al. (2017), utilizó la batería de CogState computerizada para evaluar la cognición. Concretamente, las variables cognitivas valoradas fueron: 1) la velocidad de razonamiento, medida con la tarea de Detección (DET), 2) la atención, se empleó la tarea de Identificación (IDT), 3) La memoria de trabajo, se evaluó usando las tareas “One Back” (OBT) y la tarea “Two Back” (TBT) y 4) El aprendizaje visual y la memoria, que se evaluaron mediante la tarea de aprendizaje continuo de asociación emparejada (CPAL). Finalmente, el trabajo de Ardoy et al. (2014) midió el RC (habilidad no verbal y verbal, razonamiento abstracto, habilidad espacial, razonamiento verbal y habilidad numérica), que se evaluó mediante la Prueba de Inteligencia Global y Factorial en español, así como el RA a través de las calificaciones escolares.

Tabla 3.
Características de los estudios analizados N=7

Autores y Título	Objetivo	Muestra/ Edad/ País	Diseño del estudio y duración	Variable Independiente	Variables Dependientes	Resultados
Mezcua-Hidalgo, Ruiz-Ariza, Suárez-Manzano, Martínez-López (2019). 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning.	Analizar el efecto de 16 minutos de entrenamiento interválico cooperativo de alta intensidad monitorizado (C-HIIT monitorizado) implementado al comienzo del día escolar, en variables cognitivas durante todo el día	158 participantes clasificados de forma aleatoria en un GC (n = 81) y un GE (n = 77). Adolescentes rango 12-16 años	Estudio cuantitativo aleatorizado y longitudinal con GC que lleva a cabo estiramientos estáticos, y GE que realiza 16 minutos de C-HIIT al comienzo del día escolar durante	Programa de entrenamiento C-HIIT.	Memoria; atención selectiva; concentración	Los adolescentes que realizaron C-HIIT al inicio del día escolar aumentaron significativamente en atención selectiva en un 17.39% durante la siguiente hora, en concentración en un 20.31 y un 15.26% durante la primera y segunda horas siguientes, respectivamente.

escolar y las siguientes 24-48 horas.			
Costigan, Eather, Plotnikoff, Hillman, Lubans (2016). High intensity interval training for cognitive and mental health in adolescents	Evaluar la eficacia de dos protocolos de entrenamiento en intervalos de alta intensidad (HIIT) para mejorar los resultados cognitivos y de salud mental (función ejecutiva, bienestar psicológico, estrés psicológico y autoconcepto físico) en adolescentes.	Participantes (n = 65; edad media = 15.8 ± 0.6 años)	Se asignaron al azar tres condiciones: programa de ejercicio aeróbico (AEP; n = 21), programa de resistencia y aeróbico (RAP; n = 22) y control (n = 22). Las sesiones HIIT (de 8 a 10 minutos por sesión) se impartieron durante las clases de Educación Física o al mediodía tres veces por semana durante 8 semanas.
			Programa de entrenamiento HIIT.
			Función ejecutiva; bienestar psicológico; estrés psicológico; autoconcepto físico
			Si bien los resultados no fueron significativos, pequeñas mejoras en la función ejecutiva y bienestar psicológico fueron evidentes en el grupo AEP. También se observaron mejoras moderadas en la función ejecutiva y pequeñas mejoras en el bienestar y la apariencia percibida en el grupo RAP. Las puntuaciones medias del estado de sensación mejoraron desde el entrenamiento previo al post-entrenamiento en ambas condiciones HIIT, con resultados significativos para el AEP (p = 0.001).
Martínez-López, De la Torre-Cruz, Suárez-Manzano, Ruiz-Ariza (2018). 24 sessions of monitored cooperative high-intensity interval training improves attention-concentration and mathematical calculation in secondary school.	Analizar el efecto del entrenamiento cooperativo a intervalos de alta intensidad (C-HIIT) sobre la creatividad y la Inteligencia Emocional en adolescentes de 12 a 16 años, y si los efectos de mejora son diferentes	Participantes (n= 184; GC, n= 94; GE, n= 90). Adolescentes de 12-16 años	El GE realizó un C-HIIT monitorizado, cuyas sesiones comenzaron con una actividad de calentamiento de 4 minutos, que incluye correr y estiramientos dinámicos a intensidad media. El programa estuvo compuesto por sesiones de 16 minutos de
			Programa de entrenamiento C-HIIT.
			Memoria; Atención Selectiva; concentración; cálculo matemático; razonamiento lingüístico
			El GE incrementó los factores de bienestar y sociabilidad después del programa C-HIIT (ambos p < 0,001). Más específicamente, los adolescentes inactivos en el GE mostraron mejoras significativas en comparación con el GC en creatividad, bienestar y sociabilidad (p = 0.028, p < 0.001, y p < 0,003, respectivamente). Sin embargo, no se encontraron

	según el nivel de Actividad Física semanal.		C-HIIT monito-reado, 2 sesiones por semana, durante 12 semanas (24 sesiones en total).			cambios entre los adolescentes activos.
Mebler, Holmberg, Sperlich (2016). Multimodal Therapy Involving High-Intensity Interval Training Improves the Physical Fitness, Motor Skills, Social Behavior, and Quality of Life of Boys With ADHD: A Randomized Controlled Study.	Comparar los efectos de la terapia multimodal, incluido el entrenamiento supervisado por intervalos de alta intensidad (HIIT) con los de la terapia multimodal estándar (TRAD) en relación con las variables clave de la aptitud física (potencia máxima y consumo de oxígeno), habilidades motoras, comportamiento social y calidad de la vida en niños con TDAH.	Diseño controlado de centro único, aleatorizado de dos brazos, con 28 niños (8-13 años de edad, IQ = 83-136)	HIIT multimodal (tres sesiones / semana, 4 × 4 minutos a intervalos al 95% de la frecuencia cardíaca máxima) o TRAD.	Programa de entrenamiento HIIT.	Consumo de oxígeno; condición física; habilidades motoras (destreza manual y habilidades con el balón); autoestima; competencia; atención.	El HIIT fue más efectivo que el TRAD en mejorar la puntuación total para las habilidades motoras (incluidas la destreza manual y las habilidades con el balón; $p < .05$), autoestima, amigos y competencia ($p < .05$) y, además, mejores calificaciones subjetivas de atención.
Stenman, Pesola, Laukkanen, Haapala (2017). Effects of Two-Week High-Intensity Interval Training on Cognition in Adolescents - A Randomized	Investigar los efectos de un entrenamiento de intervalo de alta intensidad (HIIT) de dos semanas sobre la cognición en adolescentes.	El total de 25 individuos de 17 a 20 años de edad participaron en las mediciones de referencia y se asigna-	El grupo HIT participó en 4 sesiones de carrera de intervalos de alta intensidad y 2 sesiones de entrenamiento en circuito. El grupo control (CG) continuó con sus hábitos	Programa de entrenamiento HIIT.	Velocidad de procesamiento; atención; memoria.	Tiempo de reacción (cambio promedio [SD] = 0.02 [0.03] vs. -0.05 [0.08], p por tiempo * interacción grupal = 0.025, $dppc2$ = -0.297) y tiempo de reacción de elección (0.03 [0.03] vs. -0.01 [0.04], p para la interacción del grupo de tiempo *

Controlled Pilot Study.		ron al azar a los grupos de intervención (n = 12) y control (n = 13); 9 personas en el grupo HIT y 10 en el GC también participaron en las evaluaciones de seguimiento	habituales. El tiempo de reacción, la elección del tiempo de reacción, la memoria de trabajo, la memoria visual y el aprendizaje se evaluaron mediante la batería de prueba computarizada CogState. El efecto de la intervención se investigó con medidas repetidas ANOVA y el tamaño del efecto por Morris dppc2.			= 0.017, dppc2 = -0.874) mejoró más en el GC que en el grupo HIT. Si bien no encontramos otras interacciones de grupos de tiempo * estadísticamente significativos, la intervención resultó tener un pequeño efecto negativo en la memoria de trabajo (dppc2 = -0.470) y un pequeño efecto positivo en la memoria visual y el aprendizaje (dppc2 = 0.419)
Arday, Fernández-Rodríguez, Jiménez-Pavón, Castillo, Ruiz & Ortega (2014). A physical education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement : The EDUFIT study.	Analizar los efectos de una intervención centrada en aumentar el tiempo y la intensidad de la Educación Física (EF), en el rendimiento cognitivo y el rendimiento académico de los adolescentes.	Ensayo controlado aleatorizado grupal de 4 meses en 67 adolescentes del sureste de España, 2007.	Se asignaron al azar tres clases en el GC, el GE1 y el GE2. GC recibió EF habitual (dos sesiones / semana), GE1 recibió cuatro sesiones de PE / semana y GE2 recibió cuatro sesiones de EF / semana de alta intensidad. El rendimiento cognitivo (capacidad no verbal y verbal, razonamiento abstracto, capacidad espacial, razonamiento verbal y capacidad numérica) se evaluó mediante la Prueba de	Programa de entrenamiento HIIT.	Rendimiento cognitivo (capacidad no verbal y verbal; razonamiento abstracto; capacidad espacial; razonamiento verbal; capacidad numérica); Rendimiento Académico.	En general, EG2 mejoró más que EG1, sin diferencias entre EG1 y CG. El aumento de la educación física puede beneficiar el rendimiento cognitivo y el rendimiento académico. Este estudio contribuye al conocimiento actual al sugerir que la intensidad de las sesiones de educación física podría desempeñar un papel en el efecto positivo de la actividad física en la cognición y el éxito académico.

						inteligencia factorial y general de español, y el rendimiento académico por grados escolares.
Ruiz-Ariza, Suárez-Manzano, López-Serrano & Martínez-López, (2019). The effect of cooperative high-intensity interval training on creativity and emotional intelligence in secondary school: A randomized controlled trial.	Analizar el efecto del entrenamiento cooperativo a intervalos de alta intensidad (C-HIIT) sobre la creatividad y la IE en adolescentes de 12 a 16 años, y si los efectos de mejora son diferentes según el nivel de AF semanal.	184 adolescentes de entre 12-16 años.	Programa de entrenamiento C-HIIT.	Memoria; atención selectiva; concentración	Se realizó un ensayo controlado aleatorio con un GC (n = 94), que hizo estiramiento estático, y un GE (n= 90), que realizó C-HIIT. Ambos grupos realizaron la actividad durante 16 minutos al comienzo de las clases de educación física (EF). La creatividad se evaluó con un factor y la IE a través de cuatro factores (bienestar, autocontrol, emocionalidad y sociabilidad). La edad y el índice de masa corporal (IMC) se utilizaron como factores de confusión. Fueron medidos dos veces (línea de base y después de 12 semanas).	El EG incrementó los factores de bienestar y sociabilidad después del programa C-HIIT (ambos $p<0,001$). Más específicamente, los adolescentes inactivos en el EG mostraron mejoras significativas en comparación con el GC en creatividad, bienestar y sociabilidad ($p=0.028$, $p<0.001$, y $p<0,003$, respectivamente). Sin embargo, no encontramos cambios entre los adolescentes activos.

AF = Actividad Física, IMC = Índice de Masa Corporal, GC = Grupo Control, GE = Grupo Experimental, TDAH = Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad, TRAD = Terapia Multimodal Estándar, EF = Educación Física, IE = Inteligencia Emocional, AEP = Programa de Ejercicio Aeróbico, RAP = Programa de Resistencia Aeróbica, HIIT = Programa de Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad, C-HIIT = Programa de Entrenamiento Interválico de Alta Intensidad y Cooperativo.

DISCUSIÓN

Esta revisión sistemática ha investigado los efectos de programas de HIIT y C-HIIT en el RC y RA de los jóvenes. Se han tenido en cuenta estudios realizados desde 2005 hasta 2019. El análisis general de resultados ha mostrado un efecto positivo de realizar HIIT o C-HIIT sobre variables cognitivas y académicas de los adolescentes.

Por tanto, se sugiere la implantación de programas de AF de alta intensidad, especialmente de carácter cooperativo, en el contexto escolar.

Los adolescentes que realizaron C-HIIT al inicio del día escolar aumentaron significativamente en atención selectiva en un 17.39% durante la siguiente hora, en concentración en un 20.31% y un 15.26% durante la primera y segunda horas siguientes, respectivamente (Mezcua-Hidalgo et al., 2019). No obstante, Costigan et al. (2016), no encuentran diferencias significativas, aunque sí muestran pequeñas mejoras tanto en la función ejecutiva como en bienestar psicológico. Martínez-López et al. (2018) y Ruiz-Ariza et al. (2019) van un paso más allá atribuyendo al C-HIIT datos objetivos sobre su influencia en el desarrollo social y de bienestar psicológico de los participantes, con intervenciones a largo plazo. Además, resaltan que los efectos de estos programas de entrenamiento son más sensibles en participantes no activos físicamente. Estos últimos resultados son similares a los obtenidos por Mebler et al. (2016), mostrando que el HIIT desarrolla mejor las habilidades motoras que el TRAD y también mejora valores de autoestima y atención. Hay algunas evidencias que muestran que el trabajo de HIIT podría tener pequeños efectos negativos en la memoria de trabajo, pero mejora la memoria visual y en el aprendizaje (Stenman et al., 2017). Ardoy et al. (2014) asociaron también el HIIT como medio para aumentar la intensidad en las clases de EF a mejoras en el RC así como el RA de los alumnos. Estos autores proponen el HIIT como herramienta para las clases de EF, justificando que se asocia a un mayor número de horas semanales de EF podría mejorar el RC y RA.

Como posibles razonamientos que puedan explicar esta relación entre el HIIT y/o C-HIIT y una mejora del RC-RA, los estudios apuntan a que los estímulos basados en AF de intensidad vigorosa pueden producir fenómenos como la angiogénesis, neurogénesis y sinaptogénesis, promovidos por el entrenamiento de la capacidad cardiorrespiratoria, que mejoraría la vascularización cerebral o el número de neuronas, afectando a la cognición (Ruiz-Ariza et al., 2017). Otros autores señalan que una mejor forma física, medida a través de Vo_2 máx., puede provocar la acumulación de D-bihidroxibutirato en el hipocampo, que sirve como fuente de energía e inductor del factor neurotrófico derivado del cerebro y del factor de crecimiento (IGF-1) que son clave para la capacidad memorística y el funcionamiento cerebral (Sleiman et al., 2016; Gillen et al., 2016).

▪ Limitaciones y fortalezas

El proceso de diseño y búsqueda de la presente revisión sistemática ha sido muy minucioso. Como principal limitación se hace constar que el tema en el que se pretendía trabajar era muy concreto y eso ha reducido en gran medida el volumen de artículos potencialmente revisables. Una fortaleza de este estudio consiste en la novedad de las aportaciones. De hecho, la asociación de programas HIIT y C-HIIT con variables cognitivas es relativamente reciente, provocando que en la selección

de los artículos encontrados ninguno tenga más de 7 años de antigüedad. La realización de una tabla con ítems de calidad (tabla 2) ayuda al lector a comprobar la relación de cada estudio con el tema tratado. Además, estos resultados pueden contribuir a la creación de propuestas basadas en programas C-HIIT y su aplicación en el ámbito educativo como herramienta potenciadora del RC y RA.

- **Aplicaciones prácticas**

Los resultados de este estudio son de gran interés, especialmente para los docentes de EF de Educación Primaria y Secundaria. Se propone el HIIT y el C-HIIT como herramienta para trabajar en clase, a intensidades mayores de las acostumbradas en las sesiones a través de programas cortos. Lo anterior hace que su integración en las sesiones no suponga un impedimento para poder seguir desarrollando las Unidades Didácticas establecidas en las Programaciones Didácticas y al mismo tiempo favorecer el RC y RA de los jóvenes.

CONCLUSIÓN

Esta revisión sistemática ha arrojado 7 estudios que engloban los efectos de utilizar HIIT o C-HIIT sobre variables de RC y RA en jóvenes. Los resultados obtenidos muestran en general un efecto positivo. Estos hallazgos son de gran utilidad para incentivar a la inclusión de programas activos con estas características del HIIT o C-HIIT en contexto escolar. Futuras investigaciones deberían ir enfocadas a la implantación de programas escolares, en las clases de EF o fuera de ellas, para potenciar al máximo los efectos cognitivos y académicos de la AF.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arday, D. N., Fernández-Rodríguez, J.M., Jiménez-Pavón, D., Castillo, R., Ruiz, J. R., & Ortega, F.B. (2014). A physical education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: The EDUFIT study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 52–61. DOI:10.1111/sms.12093
- Blair, S. N., Kohl, H. W., Paffenbarger, R. S., Clark, D. G., Cooper, K. H., & Gibbons, L. W. (1989). Physical fitness and all-cause mortality. A prospective study of healthy men and women. *JAMA*, 262(17), 2395–2401. DOI: 10.1001 / jama.262.17.2395
- Castro-Piñero, J., Artero, E. G., España-Romero, V., Ortega, F. B., Sjöström, M., Suni, J., & Ruiz, J. R. (2010). Criterion-related validity of field-based fitness tests in youth: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 44(13), 934–943. DOI:10.1136/bjism.2009.058321
- Costigan, S.A., Eather, N., Plotnikoff, R.C., Hillman, C. H., & Lubans, D.R. (2016). High-intensity interval training for cognitive and mental health in adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(10), 1985–1993. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000993

- Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Sallis, J. F., & Veiga, O. L. (2015a). Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(5), 534–539. DOI:10.1016/j.jsams.2014.07.007
- Gillen JB, Percival ME, Ludzki A, Tarnopolsky MA, Gibala M. (2013). Interval training in the fed or fasted state improves body composition and muscle oxidative capacity in overweight women. *Obesity*, 21:2249-2255. DOI: 10.1002 / oby.20379
- Keeley, T. J. H., & Fox, K. R. (2009). The impact of physical activity and fitness on academic achievement and cognitive performance in children. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 2(2), 198–214. DOI:10.1080/17509840903233822
- Li, J. W., O'Connor, H., O'Dwyer, N., & Orr, R. (2017). The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(9), 841–848. DOI: 10.1016/ j.jsams.2016.11.025
- Ma, J. K., Mare, L. Le, & Gurd, B. J. (2015). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9- to 11-year olds. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 238–244. DOI:10.1139/apnm-2014-0309
- Marker, A. M., & Staiano, A. E. (2015). Better together: Outcomes of cooperation versus competition in social exergaming. *Games for Health Journal*, 4(1), 25–30. DOI:10.1089/g4h.2014.0066
- Martínez-López, E.J., De la Torre-Cruz, M.J., Suárez-Manzano, S., & Ruiz-Ariza, A. (2018). 24 sessions of monitored cooperative high-intensity interval training improves attention-concentration and mathematical calculation in secondary school. *Journal of Physical Education and Sport*, 18 (3), 1572-1582. DOI: 10.7752/jpes.2018.03232
- Mebler, CF., Holmberg, H, Sperlich, B. (2016). Multimodal Therapy Involving High-Intensity Interval Training Improves the Physical Fitness, Motor Skills, Social Behavior, and Quality of Life of Boys With ADHD: A Randomized Controlled Study. *Journal of Attention Disorders*. DOI: 10.1177/1087054716636936
- Mezcua-Hidalgo, A., Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E.J. (2019). 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning. *Perceptual and Motor Skills*, 0 (0), 1-21. DOI: 10.1177/0031512518825197
- Moher, D., Liberati, A., Tetzlaff, J., Altman, D.G., & The PRISMA Group (2009). Preferred reporting items for systematic reviews and meta-analyses: The PRISMA statement. *PLoS Medicine*, 6(6), e1000097. DOI:10.1371/journal.pmed1000097
- Ruiz-Ariza, A., Casuso, R. A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Effect of augmented reality game Pokémon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers & Education*, 116, 49–63. DOI:10.1016/j.compedu.2017.09.002

- Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., de Loureiro, N. E. M., & Martínez-López, E. J. (2017). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1), 108–133. DOI: 10.1080/1750984X.2016.1184699
- Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., López-Serrano, S., & Martínez-López, E.J. (2019). The effect of cooperative high-intensity interval training on creativity and emotional intelligence in secondary school: A randomised controlled trial. *European Physical Education Review*, 25, 355-373. DOI: 10.1177/1356336X17739271
- Ruiz, J.R., Ortega, F.B., Castillo, R., Martín-Matillas, M., Kwak, L., Vicente-Rodríguez, G., Moreno, L.A. (2010). Physical activity, fitness, weight status, and cognitive performance in adolescents. *The Journal of Pediatrics*, 157(6), 917-922.e1–5. DOI: 10.1016/j.jpeds.2010.06.026
- Sleiman, S. F., Henry, J., Al-Haddad, R., El Hayek, L., AbouHaidar, E., Stringer, T., ... Chao, M. V. (2016). Exercise promotes the expression of brain derived neurotrophic factor (BDNF) through the action of the ketone body ß-hydroxybutyrate. *ELife*, 5, e15092. DOI: 10.7554/eLife.15092
- Stenman, M., Pesola, A.J., Laukkanen, A., Haapala, E.A. (2017). Effects of Two-Week High-Intensity Interval Training on Cognition in Adolescents - A Randomized Controlled Pilot Study. *Human Movement*, 18 (2), 15-20. DOI: 10.1515/humo-2017-0019



48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning

Mezcua-Hidalgo, A., Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E.J. (2019)

Perceptual and Motor Skills, 126(2), 202-222.

(JCR: 1,049, Q4 Psychology)

48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning

Perceptual and Motor Skills

0(0) 1–21

© The Author(s) 2019

Article reuse guidelines:

sagepub.com/journals-permissions

DOI: 10.1177/0031512518825197

journals.sagepub.com/home/pms

Alberto Mezcua-Hidalgo¹, Alberto Ruiz-Ariza¹ ,
Sara Suárez-Manzano¹, and
Emilio J. Martínez-López¹

Abstract

Physical activity has been positively related to better cognitive performance though the effects of varied exercise type and intensity and the duration of cognitive benefits are unclear. This study analyzed the effect of 16 minutes of monitored cooperative high-intensity interval training (monitored C-HIIT) at the start of the school day, on various cognitive variables over the next 24–48 hours. We randomly assigned 158 participants either to a control group ($n = 81$) that engaged only in static stretching or to an experimental group ($n = 77$) that performed monitored C-HIIT. We assessed cognitive functioning before the exercise, immediately afterward, and for five follow-up time points over the next two days (i.e., at 2, 3, 4, 24, and 48 hours). We analyzed age, sex, body mass index, and moderate-to-vigorous physical activity as potential confounder variables. Adolescents in the monitored C-HIIT group increased selective attention by 17.39% during the next hour ($p = .015$) and increased concentration by 20.31% and 15.26% during the first ($p = .022$) and second ($p = .059$) subsequent hours, respectively. This positive short-term benefit of monitored C-HIIT during immediate subsequent hours is an important finding with implications for the school curricula and schedule.

¹Faculty of Humanities and Educational Sciences, University of Jaén, Spain

Corresponding Author:

Alberto Ruiz-Ariza, Faculty of Humanities and Educational Sciences, University of Jaén, Spain.

Email: arariza@ujaen.es

Keywords

physical activity, cognition, school performance, intensity, heart rate

Introduction

Cognitive performance (CP) is composed of variables relating to executive functions such as memory, selective attention, or concentration (Ruiz-Ariza, Grao-Cruces, de Loureiro, & Martínez-López, 2017). CP is defined as the capacity for information processing, planning, intellectual organization, and behavior control (Li, O'Connor, O'Dwyer, & Orr, 2017; Lin et al., 2018). A low level of executive CP (percentile ≤ 40) during early ages (6–18 years) has been related to psychological distress such as unpleasant feelings or emotions that interfere with daily living activities and can result in sadness or negative views of the environment, others, and the self (Gale, Hatch, Batty, & Deary, 2008); anxiety; or depression (Jaycox et al., 2009). However, a high level of CP (percentile ≥ 60) has been associated with better self-concept and self-esteem and predicts better physical functioning in adulthood (i.e., daily activities; Fathi-Ashtiani, Ejei, Khodapanahi, & Tarkhorani, 2007; Poranen-Clark et al., 2016).

Recently, several systematic reviews have found a positive relationship between daily physical activity (PA) and CP in young people in both cross-sectional and longitudinal research designs (Li et al., 2017; Ruiz-Ariza et al., 2017). Two meta-analyses showed positive acute effects of PA on CP (Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Verburch, Königs, Scherder, & Oosterlaan, 2014). The acute bouts of PA in past research have consisted of 20 minutes of moderate aerobic exercise (Hogan et al., 2013; Stroth et al., 2009) and 13 minutes of moderate aerobic exercise, both performed at 60% maximal oxygen uptake (Soga, Shishido, & Nagatomi, 2015), as well as 10 minutes of coordinative activities (i.e., activities that required different bilateral abilities to balance, react, adjust, and differentiate). In this paradigm, a group of students performed on one half of a volleyball court where each bounced a volleyball with one hand while simultaneously controlling a soccer ball with their foot (Budde, Voelcker-Rehage, Pietrażyk-Kendziorra, Ribeiro, & Tidow, 2008). In this same context, another study showed significant benefits of a 10-minute bout of acute exercise on working memory (i.e., the short-term retention of task-related information; Cooper, Bandelow, Nute, Morris, & Nevill, 2012). Another study showed that an acute bout of 12 minutes of indoor running at 70–80% of maximal heart rate (HR_{max}) enhanced children's selective attention (Tine & Butler, 2012). Finally, a more recent study showed that preadolescents who performed two 20-minute bouts of moderate-intensity PA had significantly better selective attention scores compared with their counterparts who performed only one PA bout or who remained seated the whole morning

(Altenburg, Chinapaw, & Singh, 2016). Thus, there is substantial research support that acute exercise bouts should attain a minimum intensity (moderate $\approx 60\%$ HRmax) to positively affect CP.

School is an effective context for fostering regular PA practice (Centers for Disease Control and Prevention, 1997), but more PA is required within the school day (Sullivan, Kuzel, Vaandering, & Chen, 2017). Within the school context, a high CP level is essential to achieve better behavior and academic performance (Macdonald, Abbott, Lisahunter, Hay, & McCuaig, 2014; Ruiz-Ariza et al., 2017) or greater later job success (Piek, Dawson, Smith, & Gasson, 2008; Poranen-Clark et al., 2016). Beyond its traditional health benefits, PA has been shown to have potential benefits in the form of improved cognitive capacities (Cadoret et al., 2018; Roebers et al., 2014). Yet, weekly school time devoted to PA is limited, creating a demand for more efficient exercise methods. Innovative short-activity PA programs are needed to obtain the cognitive benefits of PA with minimal disruption to the school day (Román-Viñas et al., 2016). The majority of acute exercise studies have shown short-term effects (immediately after the bout or in the immediately subsequent hours) and have focused on moderate-intensity exercise (65–90% HRmax), including a wide range of exercises and durations (10–45 minutes) during school time, such as in breaks between classes. No studies to date have addressed the optimal stimulus (e.g., aerobic, coordinative, muscular, etc.) or duration for school-based exercise that might improve CP (Altenburg et al., 2016; Follador et al., 2018).

High-intensity interval training (HIIT) combines intense periods of PA at vigorous intensity (e.g., from ≤ 45 seconds to 2–4 minutes at $> 85\%$ HRmax) with short passive break periods between the high-intensity bouts. HIIT has been shown to maximize exercise effects in limited available time for PA practice (Costigan, Eather, Plotnikoff, Hillman, & Lubans, 2016). The health benefits of HIIT for all ages are widely known, including for adolescents (Costigan, Eather, Plotnikoff, Taaffe, & Lubans, 2015; Logan, Harris, Duncan, & Schofield, 2014). At a physiological level, the continued work of HIIT increases ratings of self-perceived exertion of participants (i.e., Borg's scale), heart rate, blood lactate, cardiorespiratory fitness (as measured by peak oxygen uptake), muscle mitochondrial adaptations, reduced blood pressure, dyspnoea, glucose transport capacity, insulin sensitivity and glycemic control, increased nitric oxide availability, improved lipid metabolism, and increased Peroxisome proliferator-activated receptor-gamma coactivator-1 α , which effects oxidative capacity, antioxidant defence, and resistance to age-related sarcopenia (Nicolò & Girardi, 2016). However, although HIIT has been widely studied among young sports participants (i.e., football players or athletes; Engel, Ackermann, Chtourou, & Sperlich, 2018; Faude, Schnittker, Schulte-Zurhausen, Müller, & Meyer, 2013), few studies have incorporated HIIT into the secondary-school day for adolescents generally. In studies that demonstrated a lasting positive impact of HIIT on CP, physical self-concept (especially appearance), and well-being

among adolescents, program duration was 8–10 minutes, with a work-to-rest ratio of 30:30 seconds, three sessions/week, over eight weeks (Costigan et al., 2016). Very little research has used individualized and centralized monitoring within the same computer interface to control heart rate during high-intensity exercise. Similarly few studies have incorporated cooperative training within the HIIT program (Costigan et al., 2016; Logan et al., 2014; Marker & Staiano, 2015; Ruiz-Ariza, Suárez-Manzano, López-Serrano, & Martínez-López, in press).

Prior research found increased motivation for PA that was controlled and motivated using group pulsometry (i.e., each participant wore an individual wireless heart rate chest band connected to a central computer) and in which each performed in a cooperative way (i.e., engaged in physical exercises in pairs or small groups). Cooperative exercise also promoted continued play, enhanced self-efficacy, and positive social behaviors (Marker & Staiano, 2015; Ruiz-Ariza et al., in press). In fact, Thompson (2017) recently reported that HIIT, group training, and wearable technology such as heart rate monitors are expected to be the top three fitness trends for 2018. Thus, a new exercise method like monitored cooperative HIIT (monitored C-HIIT) is a novel strategy for enhanced PA benefits in educational settings. A short-term HIIT of 16 minutes/day had positive effects on adolescents' emotional intelligence, self-control, emotionality, and sociability, after a 12-week intervention, possibly due to the playful cooperative context and the social interaction between classmates (Ruiz-Ariza et al., in press). These short intense exercise bouts interspersed during the school day are compatible with the school's scheduled physical education (PE). Despite these past findings and assumptions, there has not yet been empirically demonstrated evidence for benefits of brief, monitored C-HIIT benefits on adolescents' CP during the school day, and while most studies measured the immediate (e.g., 1–3 hours) postexercise effect of PA on CP, prior studies have not measured prolonged effects over the subsequent 24–48-hour period.

We undertook the present study to address unstudied parameters. We hypothesized that brief monitored C-HIIT could improve CP over an ensuing 48-hour school period. We analyzed the effect of one acute 16-minute group exercise bout of monitored C-HIIT implemented at the beginning of the school day for a large sample of Spanish adolescent students. We measured the students' memory, selective attention, and concentration, immediately after the bout, during the whole school day and for a subsequent period of 24–48 hours.

Method

Design and Participants

This study used a quantitative randomized controlled and blind trial with 158 female and male adolescents from two secondary schools in Andalusia (Spain).

The students who attended the two schools were of the same sociocultural level and lived in the same geographical area. Prior to any data collection, parents of all participants signed informed written consent. We randomly assigned students of each school group (see details later) either to a control group (CG; $n = 81$) that carried out only static stretching or to an experimental C-HIIT group (C-HIIT; $n = 77$) that performed 16 minutes of monitored C-HIIT at the beginning of the school day (8:30 a.m.). Experimental group and CG were separated during the PA program and during data collection. The participants did not know the objective of the study or the number of subsequent measurements. Participants had a mean age of 14.06 ($SD = 1.29$) years (range = 12–16 years) and a mean body mass index (BMI) of 21.40 ($SD = 4.19$) kg/m^2 . Prior to their voluntary participation, youth with physical limitations or medical contraindications to carrying out intense physical exercise were excluded, as were those who participated in an official sport club or competitive sports. The structure used for group formation and intervention characteristics are shown in Figure 1.

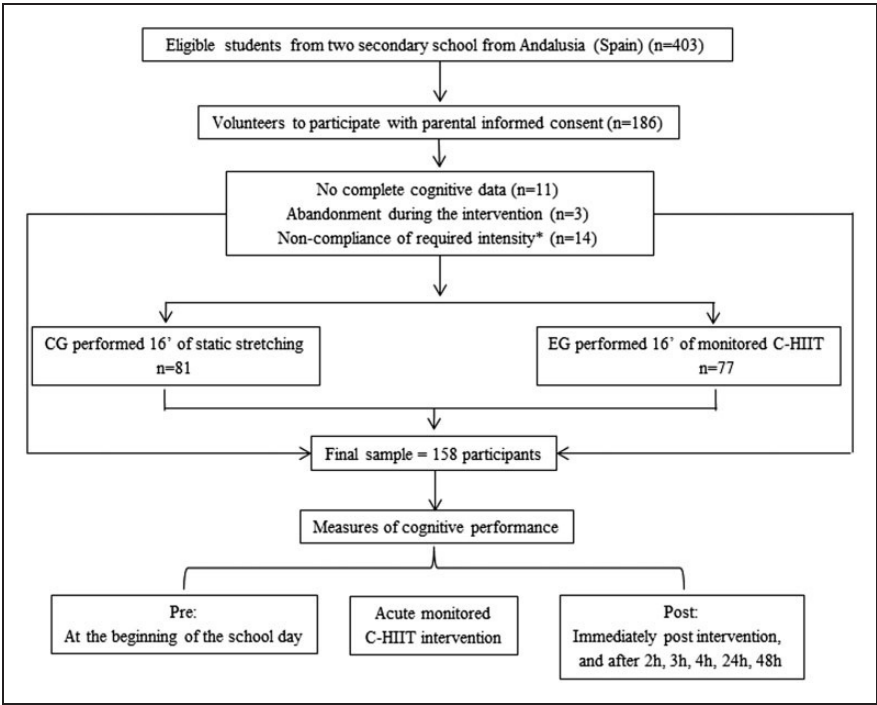


Figure 1. Study flow. CG = control group; EG = experimental group; C-HIIT = cooperative high-intensity interval training. *Participants who did not maintain the required intensity at least during the 80% of monitored C-HIIT program.

This study was approved by the Bioethics Committee of the University of Jaén. The design complies with Spanish regulations for clinical research in humans (Law 14/2007, July 3, Biomedical Research), with the regulations for private data protection (Organic Law 15/1999), and with the principles of the Declaration of Helsinki (2013 version, Brazil).

Instrumentation

Cognitive performance. To assess the students' memory, we used an ad hoc test of one minute, based on other original ideas (Tombaugh, 1996; Wechsler, 1945) and from the memory test that is included within the Spanish adaptation of the Reynolds Intellectual Assessment Scales (Santamaría-Fernández & Fernández-Pinto, 2013). In the administration of this ad hoc memory test, we projected a poster of 15 Spanish playing cards, randomly selected, for 20 seconds onto a 3×2 -m screen. Immediately afterward, the participants had 40 seconds to write on a standardized sheet of paper as many cards as they could remember. We counted the total number of correct answers (range 0–15) drawn by each participant. Before the test, we verified that all participants knew the structure and content of the 40 cards of the Spanish card deck. This memory test has been used previously in other recent investigations, with good demonstrated test–retest reliability over 48 hours of 0.919 among 21 participants studied (Ruiz-Ariza, Casuso, Suárez-Manzano, & Martínez-López, 2018).

Selective attention and concentration capacity were assessed under stress induced by setting a short time to completion (20 seconds for each row) of Brickenkamp's d2 Test in the Spanish version (Seisdedos, 2012). The d2 Test assesses visual perceptual speed and concentrative capacities by assessing an individual's ability to quickly and accurately focus selectively on certain relevant aspects of a task while ignoring other irrelevant aspects. The complete administration of this paper-and-pencil test is four minutes and 40 seconds. We calculated the selective attention score using the following formula: [number of processed elements – (omissions + mistakes)]. In addition, we calculated the concentration score using the following formula: (number of correct elements – number of mistakes). This test has been used previously in other recent investigations, with good demonstrated test–retest reliability over 48 hours of 0.911 among 21 participants studied (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Acute bout of monitored cooperative high-intensity interval training (monitored C-HIIT). CG participants performed individual static stretching because prior research reviewers concluded that flexibility is the physical fitness activity that is least associated with CP (probably due to its minimal effect on the nervous system, neuronal speed, angiogenesis, or synaptogenesis; Ruiz-Ariza et al., 2017; Santana et al., 2017). The C-HIIT participants started with a short 4-minute warm-up activity, including medium-intensity ($\approx 65\%$ HRmax) sideways sliding

movements, running, and dynamic stretching (involving active movements that stretch but do not hold the muscle, such as gluteal kicks or sidekicks). The stimulus part of the session was 16 minutes long and consisted of four series of each proposed exercise (four exercises) and a work-to-rest ratio of 30:30 seconds (1:1) with four minutes in total per series (Costigan et al., 2016). This monitored C-HIIT included a combination of cardiorespiratory, motor, and coordinative training exercises involving eye–hand or eye–feet coordination. These were chosen because they are most likely to enhance CP in adolescents (see Figure 2(a); Ruiz-Ariza et al., 2017). In addition, all activities were carried out in randomly assigned subject pairs of participants with one participant in each pair rotating after each series toward their right side, to promote an interactive context among classmates (Marker & Staiano, 2015). The C-HIIT session was delivered by two PE teachers who specialized in this research method. Participants wore Seego Realtracksystems® (Spain) heart rate monitors to motivate and encourage maintenance of the appropriate exercise intensity. Each participant from the C-HIIT group visualized his or her work intensity with a slide projector on a 6 × 3-m screen and was asked to remain in an intensity $\geq 85\%$ HRmax (Costigan et al., 2016).

Confounders. We followed the example of prior researchers by controlling for participants' age, sex, and BMI (calculated with weight and height according to the formula of weight/height (m^2); Ruiz-Ariza et al., 2017). We used an ASIMED® B-type-class III (Spain) and a portable height meter SECA 214 (SECA® Ltd, Germany), respectively, for weight and height measurements, with participants barefoot and dressed in light clothes. Finally, to establish the weekly moderate-to-vigorous PA levels, we used the *Adolescent Physical Activity Measure* questionnaire (Prochaska, Sallis, & Long, 2001). We presented two items to assess moderate-to-vigorous physical activity (MVPA), seeking PA self-reports of at least one hour a day in the previous week and over a typical week when the student would attend school and engage in extracurricular activities. The response scale was the same for both items: 1 = *no days*, 2 = *1 day*, 3 = *2 days*, 4 = *3 days*, 5 = *4 days*, 6 = *5 days*, 7 = *6 days*, and 8 = *7 days*. Similar to previous studies, we used the participants' averaged response to both items to represent MVPA, and we found the internal consistency of these PA items to be high (Cronbach's $\alpha = .823$; Martínez-López et al., 2015; Ruiz-Ariza et al., 2018).

Procedure

In both groups, we measured the participants' CP for the selected variables of memory, selective attention, and concentration at seven time points during the school morning: at baseline (8 a.m.), immediately postexercise (9 a.m.), and after 2, 3, 4, 24, and 48 hours. All measures (pre- and postintervention) were

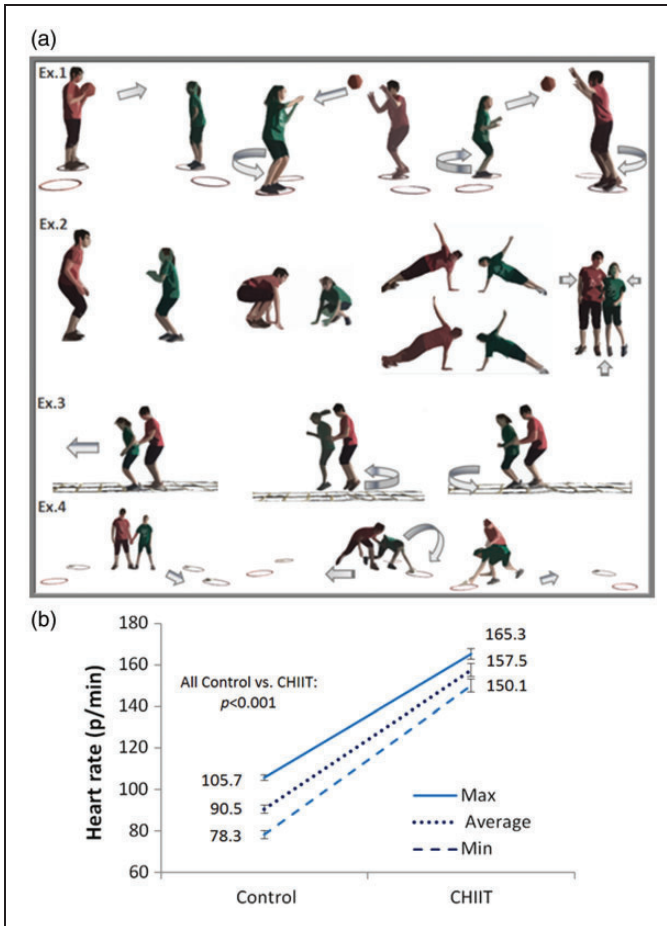


Figure 2. Graphical description of the monitored C-HIIT. (a) C-HIIT activities: Exercise 1: Lateral jump in hoops with legs together, passing a ball in pairs in each jump, at 2 m of distance between them, as many times as possible during the work time. Exercise 2: Burpees in pairs raising one hand and then another alternately from the push-ups position and crashing shoulders in the jump, repeated as many times as possible during the work time. Exercise 3: Coordination ladder one behind of the another one, caught by the hips, imitating the partner during work time. When one series is completed, the roles are rotated. Exercise 4: Lateral running back and forth between hoops at 5 m, holding hands. They must pick up a sponge inside the hoop in the ground and drop the sponge in another hoop, and so on. The pair needs to sum the higher number of sponges changed of one hoop to another one. (b) Minimum, maximum, and average intensity values in the class group. C-HIIT = cooperative high-intensity interval training.

performed in a typical classroom with individual desks so as to standardize testing and avoid bias risk. During the pretest, participants completed a socio-demographic questionnaire with variables such as age, sex, computers at home, and daily time spent studying (Ruiz-Ariza et al., 2018). All measures were group-administered paper-and-pencil tests. Before each test, students were provided with standardized verbal and written instructions (Ruiz-Ariza et al., 2018). We collected all the data in March 2016. The intervention was carried out in the school's sports court. Each C-HIIT group participant had to keep the required heart rate intensity (range ≈ 165 – 185 beats per minute) for at least 80% of the 30 seconds of active monitored C-HIIT. Data from 14 students had to be excluded from final analysis due to noncompliance with these requirements (e.g., in adequate intensity during training). Participants within the CG group performed static stretching exercises during the same time period that the C-HIIT group was engaged in the experimental intervention (Mayorga-Vega, Merino-Marban, Real, & Viciana, 2015). None of the participants engaged in extracurricular PA for 48 hours before or 48 hours after the intervention. One week before starting, we assessed all participants' response to effort with the 20-m shuttle run cardiorespiratory test (Ruiz et al., 2016) and provided each family with an individualized report. No participant presented tolerance problems with high-intensity training.

Data Analysis

We compared participants in the two groups, CG and C-HIIT, on continuous and categorical variables using Students' *t* test and χ^2 , respectively. Tests of normal distribution and homogeneity (Kolmogorov–Smirnov and Levene's) were conducted before analysis. To study the relationship between variables, we used Pearson's correlation. We used a repeated measures analysis of covariance (ANCOVA) with 2 groups (CG and C-HIIT) $\times$ 7 test time points (baseline, immediately post, and after 2, 3, 4, 24, and 48 hours) to analyze the effects of 16 minutes of monitored C-HIIT. Memory, attention, and concentration were the CP-dependent variables. The group was used as a fixed factor, and age, sex, BMI, and MVPA were confounders. We conducted Bonferroni post hoc analysis when need. The effect size was computed and reported as a partial η^2 value for the ANCOVA comparisons. To describe the magnitude of the between-group changes, we calculated the effect sizes Cohen's *d* (Cohen, 1988) separately for each dependent variable. For all the analyses, we used a 95% confidence level ($p \leq .05$). We calculated the percentage of change between groups after 16 minutes of monitored C-HIIT as follows: $[(\text{C-HIIT postmeasurement} - \text{CG postmeasurement}) / \text{CG postmeasurement}] \times 100$. The analyses were completed using SPSS (v.22 for Windows).

Results

Analysis of Intensity of Monitored C-HIIT

Values of baseline heart rate were similar between the two groups at the beginning of the study (CGM = 78.32, $SD = 11.49$ vs. C-HIITM = 79.88, $SD = 15.46$ bpm, $p > .05$). However, during the C-HIIT program, the mean heart rate in CG ($M = 90.54$, $SD = 14.33$ bpm) was lower than in the C-HIIT group ($M = 157.53$, $SD = 24.18$ bpm; range: $M_{\max} = 165.32$, $SD = 26.90$ and $M_{\min} = 150.10$, $SD = 22.31$ bpm; all measures between groups CG vs. C-HIIT were significantly different, $p < .001$; Figure 2(b)).

Descriptive Analysis and Correlation Between Variables

Table 1 shows the sociodemographic characteristics of the adolescent participants, as well as values of their memory, selective attention, and concentration at the beginning of the study. Participants had an average of 2.03 ($SD = 1.10$) computers at home, carried out an average of 3.32 ($SD = 1.65$) days/week of

Table 1. Anthropometric, Sociometric, and Cognitive Characteristics of Participants.

	All <i>n</i> = 158	CG <i>n</i> = 81	EG <i>n</i> = 77	<i>p</i> value
Age (years)	14.06 (1.29)	14.20 (1.31)	13.88 (1.25)	.12
Sex				
Girl	78 (49.4%)	43 (53.1%)	35 (45.5%)	.34
Boy	80 (49.9%)	38 (46.9%)	42 (54.5%)	
Weight (kg)	56.28 (13.47)	55.95 (13.72)	56.79 (13.48)	.73
High (m)	1.61 (0.08)	1.61 (0.07)	1.61 (0.09)	.65
BMI (kg/m ²)	21.40 (4.19)	21.41 (4.54)	21.50 (3.82)	.90
Computers at home (n)	2.03 (1.10)	2.05 (1.10)	2.01 (1.12)	.84
Daily time studying (min/day)	67.60 (34.97)	64.71 (33.57)	70.86 (36.98)	.29
MVPA (days/week)	3.32 (1.65)	3.18 (1.66)	3.50 (1.63)	.23
Internet access				
No	8 (5.1%)	3 (3.7%)	5 (6.5%)	.42
Yes	150 (94.9%)	78 (96.3%)	72 (93.5%)	
Memory	4.31 (2.39)	4.44 (2.40)	4.16 (2.41)	.46
Selective attention	130.19 (44.73)	135.21 (52.66)	123.72 (33.91)	.09
Concentration	121.47 (70.31)	124.37 (66.50)	118.16 (75.30)	.59

Note. Values are presented as mean and standard deviation or percentage. CG = control group, EG = experimental group, BMI = body mass index, MVPA = moderate-to-vigorous physical activity.

MVPA, studied an average of 67.60 ($SD = 34.97$) minutes/day, and only 5% of participants lacked Internet access. There were no initial differences between CG and C-HIIT groups on any dependent variable (all $p > .05$). At the beginning of the study, all dependent variables were significantly correlated (memory and attention: $r = .167$, $p < .05$; memory and concentration: $r = .210$, $p < .01$; and attention and memory: $r = .605$, $p < .01$).

ANCOVA Analysis of Monitored C-HIIT Effect on Cognitive Variables

The results of the ANCOVA for each cognitive measure across all time points as a dependent variable with group (CG vs. C-HIIT) as a fixed factor and with age, sex, BMI, and MVPA as covariates are shown later. The results for the memory variable (Figure 3) showed a main effect for testing time point, $F(6, 510) = 3.865$, $p = .001$, partial $\eta^2 = 0.046$. Both groups significantly improved on the last three time point measures (4, 24, and 48 hours) compared with the pretest measure ($p < .001$), suggesting a likely practice or learning effect from repeated testing. No Group $\times$ Testing Time Point interaction was found, nor was there a main effect for group.

Attention selective results (Figure 4) showed a main effect for testing time point, $F(6, 510) = 2.891$, $p = .009$, partial $\eta^2 = 0.033$; a Group $\times$ Time interaction effect, $F(6, 510) = 2.710$, $p = .013$, partial $\eta^2 = 0.031$, $1 - \beta = .871$; and a main effect for group approached but did not reach significance, $F(1, 85) = 3.701$, $p = .071$, partial $\eta^2 = 0.042$. Post hoc analysis of the interaction effect showed differences in all of the time point measurements in comparison with pretest measurement in both groups (all $p < .001$). The analysis of participant interest in exercise showed that immediately after 16 minutes of monitored C-HIIT, selective attention was 17.39% higher among C-HIIT participants than among

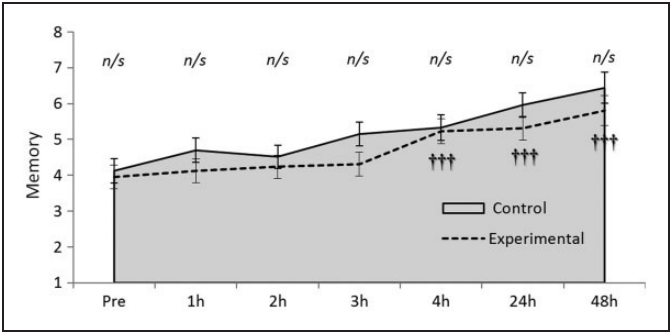


Figure 3. Results of ANCOVA analysis in memory after 16 minutes of monitored C-HIIT in adolescents. ††† denote $p < .001$ regarding premeasures in control group and experimental group. n/s denote no significant differences between groups in the same measure.

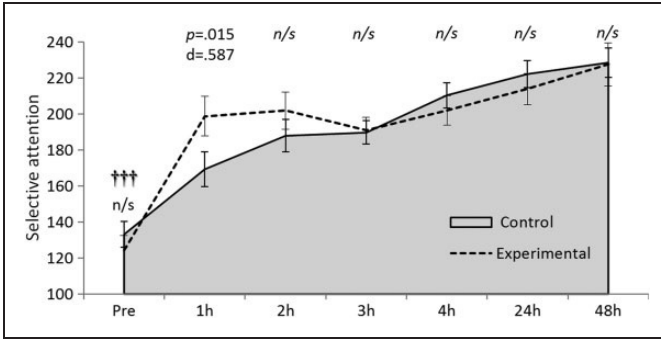


Figure 4. Results of ANCOVA analysis in selective attention after 16 minutes of monitored C-HIIT in adolescents. ††† denote $p < .001$ regarding premeasures in control group and experimental group. n/s denote no significant differences between groups in the same measure. A Cohen's d value ≥ 0.8 indicates a large effect size, a Cohen's d value $\geq 0.5 < 0.8$ indicates a medium effect size, and a Cohen's d value $\geq 0.2 < 0.5$ indicates a small effect size.

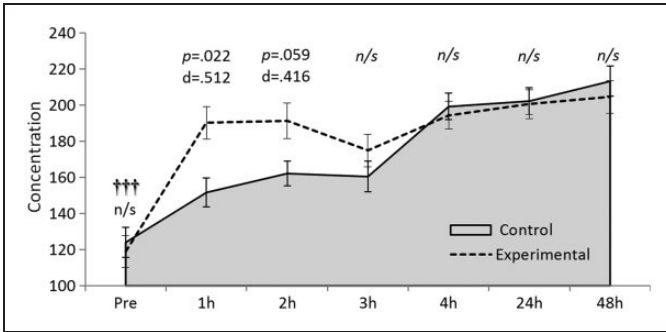


Figure 5. Results of ANCOVA analysis in concentration after 16 minutes of monitored C-HIIT in adolescents. ††† denote $p < .001$ regarding premeasures in control group and experimental group. n/s denote no significant differences between groups in the same measure. A Cohen's d value ≥ 0.8 indicates a large effect size, a Cohen's d value $\geq 0.5 < 0.8$ indicates a medium effect size, and a Cohen's d value $\geq 0.2 < 0.5$ indicates a small effect size.

CG ($M = 198.86$, $SD = 86.41$ vs. $M = 169.39$, $SD = 45.70$, $p = .015$, Cohen's $d = 0.587$). However, on subsequent measurements, the level of attention was similar in both groups.

Finally, concentration data (Figure 5) showed a main effect for test time point ($p < .001$), a Group $\times$ Time interaction, $F(6, 510) = 4.728$, $p < .001$, partial $\eta^2 = 0.053$ and a main effect for group, $F(1, 85) = 2.122$, $p = .033$, partial $\eta^2 = 0.059$. Post hoc interaction analysis showed differences on all measures at

pretest measurements between CG and C-HIIT participants (all $p < .001$). The analysis of participant interest showed that immediately after monitored C-HIIT, participants' concentration increased in the C-HIIT group by 20.31% ($M = 190.36$, $SD = 68.23$ vs. $M = 151.68$, $SD = 42.27$, $p = .022$, Cohen's $d = 0.512$). This improvement persisted (15.26%) for 2 hours after the C-HIIT intervention ($M = 191.40$, $SD = 82.12$ vs. $M = 162.18$, $SD = 39.53$, $p = .059$, Cohen's $d = 0.416$).

Discussion

This study analyzed the effect of 16 minutes of coordinated and monitored C-HIIT on Spanish adolescents' (aged 12–16 years) memory, selective attention, and concentration over a period of 48 hours of school time after the intervention. Relative to adolescents in the CG, adolescents who carried out monitored C-HIIT at the beginning of the school day significantly increased their selective attention by 17.39% during the next hour, and they increased their concentration by 20.31% and 15.26% during the next one and two hours, respectively. There were no differences between the CG and the C-HIIT group at the other time point measures during the next 48 hours after the exercise intervention. There were no differences in memory between control and C-HIIT participants on any postmeasurement. We observed no negative effect after 16 minutes of monitored C-HIIT on the subsequent measurements. These results suggest that monitored C-HIIT used at the beginning of the school day can better assist attention and concentration in class for at least the ensuing 1-2 hours, relative to stretching exercises.

Our findings partially confirm our hypothesis that monitored C-HIIT could improve CP during ensuing school time and are in line with most previous research. One prior study failed to find effects of low-to-moderate-intensity PA on selective attention in young adolescents (van den Berg et al., 2016), while other cross-sectional studies have shown that PA is positively associated with selective attention–concentration in adolescents (Cadenas-Sanchez et al., 2017; Vanhelst et al., 2016). Two previous intervention studies examined the effects of acute exercise on attention–concentration (Budde et al., 2008; Zervas, Danis, & Klissouras, 1991), and both showed significant improvements after exercise on the d2 and Cognitrone tests, respectively. There is evidence suggesting that incorporating PA into the school day is not associated with improvements in the executive function skill of inhibition (de Greeff et al., 2016), but rather, PA is better related to attention–concentration in the classroom (Norris, Shelton, Dunsmuir, Duke-Williams, & Stamatakis, 2015). One recent study showed that only four minutes of HIIT between classes—FUNtervals consisting of 20 seconds of high-intensity activity separated by 10 seconds of rest, repeated eight times—can improve selective attention in children aged 9 to 11 years old (Ma, Le Mare, & Gurd, 2015). More

recently, another study showed that a single bout of 20 minutes of moderate-intensity PA in school, compared with being seated, improved selective attention in the first part of the morning (Altenburg et al., 2016).

The acute positive effects of monitored C-HIIT on selective attention and concentration might be explained through two mechanisms. First, C-HIIT requirement that participants' attend visually to a big screen projection of their own heart rate data (if too far away they might not otherwise see their data) may stimulate better postexercise concentration. Second, PA increases blood lactate so that it contributes about 25% to cerebral energy requirements after the exercise, while blood lactate is only at 7% during rest (van Hall, 2010). A prior study associated increases in blood lactate after 10 minutes of high-intensity PA with better cognitive functioning 45 minutes later (Cooper et al., 2012). In addition, PA stimulates the accumulation of ketones (D- β -hydroxybutyrate) in the hippocampus, where it serves both as an energy source and an inhibitor of class I histone deacetylases to specifically induce brain-derived neurotrophic factor (BDNF), a key factor in cell survival, brain plasticity, and CP (Sleiman et al., 2016). PA also increases the level of brain neurotransmitters such as serotonin or norepinephrine, which positively affect CP (Lojovich, 2010). To date, it is unknown how long the effects may last from an acute HIIT performed at the beginning of the school day. One study demonstrated that cerebral blood flow returned to preactivity levels within 40 minutes, after a 25-minute PA bout at 70% HRmax (MacIntosh et al., 2014). Another study showed that BDNF concentrations returned to baseline levels within 30 minutes after a 30-minute PA bout at 60% maximal oxygen uptake (Gold et al., 2003). In line with Altenburg et al. (2016), our findings suggest that our adolescent participants' enhanced selective attention-concentration may persist for 1-2 hours after monitored C-HIIT. Possibly, increased exercise intensity might simultaneously enhance cerebral blood flow, catecholamines, or BDNF, prolonging its effects and inducing stimulation of the hippocampus and prefrontal cortex for a longer time (Li et al., 2017). Additional explanations target the *paired cooperation* component of C-HIIT, which could reduce anxiety and stress, increase self-esteem and motivation, promote continued and playful entertainment, enhance self-efficacy or group decision-making, and increase pro-social behaviors (Davis, Taylor, & Cohen, 2015; Marker & Staiano, 2015; Ruiz-Ariza et al., in press). All of these changes might empower attention-concentration after the intervention.

Our study did not show an acute effect of monitored C-HIIT on memory, though some other recent studies found that 10-15 minutes of acute exercise positively affected adolescents' performance on the Letter Digit Span test (Budde et al., 2008; Zach & Shalom, 2016), n-back task (Soga et al., 2015), and in Sternberg's paradigm (Cooper et al., 2012). Inconsistent findings in this research could be due to different exercise intensities in various experiments. One previous study examined the memory effect of a 10-minute acute exercise

bout (10 repetitions of 7×20 -m shuttle runs at eight km/hr, with 30 seconds rest between repetitions and an average heart rate of 172 [$SD = 17$ bpm]) and showed significant improvements 45 minutes later (Cooper et al., 2012). Another study separated participants into low- and high-performer groups based on their pretest Letter Digit Span scores and examined the memory effects of exercise intensity (50%–65% and 70%–85% HRmax; Budde et al., 2008) to find that only the low-performer group at lower PA intensity (50%–65% HRmax) significantly improved memory. Meanwhile, Soga et al. (2015) found that working memory decreased during 13 minutes of walking on a treadmill at 70% HRmax. A recent systematic review (Li et al., 2017) determined that PA effects on memory were small in these last two studies mentioned (effect size = 0.07–0.32; $p = .46$ –.88, respectively; Budde et al., 2008; Soga et al., 2015), indicating a continued need to study physiopsychological mechanisms influencing this PA-memory relationship.

There are several important limitations to this study. While we adapted six versions of CP tests to minimize practice effects, we still demonstrated a practice or learning effect over repeat testing for participants in both the control and C-HIIT groups. Future studies should use parallel forms of cognitive tasks or factor out expected practice effect gains. We also noticed that, during monitored C-HIIT, some participants had difficulty with continuous high-intensity activity over 16 minutes, meaning that the PA intensity level may not have been properly set, even though heart rate monitors encouraged participants to maintain the correct intensity. As there are always limits to how many variables can be studied, we did not gather motor ability data and cannot say whether the C-HIIT benefits might have been different for adolescents of high and low motor ability levels. Continuous research refinements of this kind are needed to best understand what factors may further enhance in-school PA strategies for improving key aspects of in-school CP.

There are important educational implications of our demonstrated CP benefits from students' in-school C-HITT engagement early in the day. Other recent studies have also identified the importance of matching the time of day for HIIT to optimal circadian rhythm, including individual cortisol levels (Bonato et al., 2017b), sleep (Vitale et al., 2017a), and mood, fatigue, or perceived exertion (Rossi, Formenti, Vitale, Calogiuri, & Weydahl, 2015; Vitale, La Torre, Baldassarre, Piacentini, & Bonato, 2017b). One systematic review concluded that participants with higher morning energy perceived less effort when performing a submaximal physical task in the morning than did those with an evening preference or no preference. In addition, morning types generally demonstrated better sport performances, as measured by their running times, than did evening or neither types (Vitale & Weydahl, 2017). Thus, an individual's chronotype should be considered when scheduling HIIT (Bonato et al., 2017a; Rossi et al., 2015). Our findings provide a rationale for placing PE classes at the beginning of the school day or before a school subject that requires good

attention–concentration. There is also support here for including short-term monitored C-HIIT programs within PE classes during secondary school as a means of enhancing attention–concentration among adolescent students. Short-term cognitive improvement from brief monitored C-HIIT might also benefit students' social and emotional welfare, and PE teachers are well advised to promote varied programs to develop the potential of PA in the curricula (Fedewa, Candelaria, Erwin, & Clark, 2013). Educational administrators should place PA at the beginning of the school day and structure short, monitored C-HIIT intervals throughout the day to encourage active learning periods. The positive short-term effect on attention and concentration of adolescent students justifies extending PA hours in schools, perhaps especially for children with attention-deficit hyperactivity disorder. One study showed that extending PE time to four hours/week led to no decrease in academic achievement in other school subjects (Arday et al., 2014).

Declaration of Conflicting Interests

The author(s) declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

Funding

The author(s) disclosed receipt of the following financial support for the research, authorship, and/or publication of this article: This study has been partly supported by the University of Jaén (grant number UJA2016/08/05-R3/8) and by the University of Jaén Doctoral School. The study was also funded by the Research Group (grant number HUM-943) Physical Activity applied to Education and Health (University of Jaén, Spain). Support was also received from two university teaching staff programs, implemented by the Ministry of Education, Culture and Sport of the Spanish Government (grant numbers AP-2014-01185 and AP-2015/02645).

ORCID iD

Alberto Ruiz-Ariza  <http://orcid.org/0000-0003-0351-1490>

References

- Altenburg, T. M., Chinapaw, M. J., & Singh, A. S. (2016). Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: A randomized controlled trial. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(10), 820–824. doi:10.1016/j.jsams.2015.12.003
- Arday, D. N., Fernández-Rodríguez, J. M., Jiménez-Pavón, D., Castillo, R., Ruiz, J. R., & Ortega, F. B. (2014). A physical education trial improves adolescents' cognitive performance and academic achievement: The EDUFIT study. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(1), 52–61. doi:10.1111/sms.12093
- Bonato, M., Agnello, L., Galasso, L., Montaruli, A., Roveda, E., Merati, G., . . . Vitale, J. A. (2017a). Acute modification of cardiac autonomic function of high-intensity interval

- training in collegiate male soccer players with different chronotype: A cross-over study. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16(2), 286–294.
- Bonato, M., La Torre, A., Saresella, M., Marventano, I., Merati, G., & Vitale, J. A. (2017b). Salivary cortisol concentration after high-intensity interval exercise: Time of day and chronotype effect. *Chronobiology International*, 34(6), 698–707. doi:10.1080/07420528.2017.1311336
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraßyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, 441(2), 219–223. doi:10.1016/j.neulet.2008.06.024
- Cadenas-Sanchez, C., Vanhelst, J., Ruiz, J. R., Castillo-Gualda, R., Libuda, L., Labayen, I., . . . Moreno, L. A. (2017). Fitness and fatness in relation with attention capacity in European adolescents: The HELENA study. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(4), 373–379. doi:10.1016/j.jsams.2016.08.003
- Cadoret, G., Bigras, N., Duval, S., Lemay, L., Tremblay, T., & Lemire, J. (2018). The mediating role of cognitive ability on the relationship between motor proficiency and early academic achievement in children. *Human Movement Science*, 57, 149–157. doi:10.1016/j.humov.2017.12.002
- Centers for Disease Control and Prevention. (1997). Guidelines for school and community programs to promote lifelong physical activity among young people. *The Journal of School Health*, 67(6), 202–219.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: A meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101. doi:10.1016/j.brainres.2012.02.068
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cooper, S. B., Bandelow, S., Nute, M. L., Morris, J. G., & Nevill, M. E. (2012). The effects of a mid-morning bout of exercise on adolescents' cognitive function. *Mental Health and Physical Activity*, 5(2), 183–190. doi:10.1016/j.mhpa.2012.10.002
- Costigan, S. A., Eather, N., Plotnikoff, R. C., Hillman, C. H., & Lubans, D. R. (2016). High-intensity interval training for cognitive and mental health in adolescents. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(10), 1985–1993. doi:10.1249/MSS.0000000000000993
- Costigan, S. A., Eather, N., Plotnikoff, R. C., Taaffe, D. R., & Lubans, D. R. (2015). High-intensity interval training for improving health-related fitness in adolescents: A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49, 1253–1261. doi:10.1136/bjsports-2014-094490
- Davis, A., Taylor, J., & Cohen, E. (2015). Social bonds and exercise: Evidence for a reciprocal relationship. *PLoS One*, 10(8), e0136705. doi:10.1371/journal.pone.0136705
- de Greeff, J. W., Hartman, E., Mullender-Wijnsma, M. J., Bosker, R. J., Doolaard, S., & Visscher, C. (2016). Long-term effects of physically active academic lessons on physical fitness and executive functions in primary school children. *Health Education Research*, 31(2), 185–194. doi:10.1093/her/cyv102
- Engel, F. A., Ackermann, A., Chtourou, H., & Sperlich, B. (2018). High-intensity interval training performed by young athletes: A systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 9, 1012. doi:10.3389/fphys.2018.01012

- Fathi-Ashtiani, A., Ejei, J., Khodapanahi, M. K., & Tarkhorani, H. (2007). Relationship between self-concept, self-esteem, anxiety, depression and academic achievement in adolescents. *Journal of Applied Sciences*, 7, 995–1000. doi:10.3923/jas.2007.995.1000
- Faude, O., Schnittker, R., Schulte-Zurhausen, R., Müller, F., & Meyer, T. (2013). High intensity interval training vs. high-volume running training during pre-season conditioning in high-level youth football: A cross-over trial. *Journal of Sports Sciences*, 31(13), 1441–1450. doi:10.1080/02640414.2013.792953
- Fedewa, A. L., Candelaria, A., Erwin, H. E., & Clark, T. P. (2013). Incorporating physical activity into the schools using a 3-tiered approach. *Journal of School Health*, 83(4), 290–297. doi:10.1111/josh.12029
- Follador, L., Alves, R. C., Ferreira, S. D. S., Buzzachera, C. F., Andrade, V. F. D. S., Garcia, E. D. D. A., . . . da Silva, S. G. (2018). Physiological, perceptual, and affective responses to six high-intensity interval training protocols. *Perceptual and Motor Skills*, 125(2), 329–350. doi:10.1177/0031512518754584
- Gale, C. R., Hatch, S. L., Batty, G. D., & Deary, I. J. (2008). Intelligence in childhood and risk of psychological distress in adulthood: The 1958 National Child Development Survey and the 1970 British Cohort Study. *Intelligence*, 37(6), 592–599. doi:10.1016/j.intell.2008.09.002
- Gold, S. M., Schulz, K. H., Hartmann, S., Mladek, M., Lang, U. E., Hellweg, R., . . . Heesen, C. (2003). Basal serum levels and reactivity of nerve growth factor and brain-derived neurotrophic factor to standardized acute exercise in multiple sclerosis and controls. *Journal of Neuroimmunology*, 138(1), 99–105. doi:10.1016/S0165-5728(03)00121-8
- Hogan, M., Kiefer, M., Kubesch, S., Collins, P., Kilmartin, L., & 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. doi:10.1007/s00221-013-3595-0
- Jaycox, L. H., Stein, B. D., Paddock, S., Miles, J. N., Chandra, A., Meredith, L. S., . . . Burnam, M. A. (2009). Impact of teen depression on academic, social, and physical functioning. *Pediatrics*, 124(4), e596–e605. doi:10.1542/peds.2008-3348
- Li, J. W., O'Connor, H., O'Dwyer, N., & Orr, R. (2017). The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20(9), 841–848. doi:10.1016/j.jsams.2016.11.025
- Lin, J., Wang, K., Chen, Z., Fan, X., Shen, L., Wang, Y., . . . Huang, T. (2018). Associations between objectively measured physical activity and executive functioning in young adults. *Perceptual and Motor Skills*, 125(2), 278–288. doi:10.1177/0031512517745438
- Logan, G. R., Harris, N., Duncan, S., & Schofield, G. (2014). A review of adolescent high-intensity interval training. *Sports Medicine*, 44(8), 1071–1085. doi:10.1007/s40279-014-0187-5
- Lojovich, J. M. (2010). The relationship between aerobic exercise and cognition: Is movement medicinal? *The Journal of Head Trauma Rehabilitation*, 25(3), 184–192. doi:10.1097/HTR.0b013e3181dc78cd
- Ma, J. K., Le Mare, L., & Gurd, B. J. (2014). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9-to 11-year olds. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 238–244. doi:10.1139/apnm-2014-0309
- Macdonald, D., Abbott, R., Lisahunter, Hay, P., & McCuaig, L. (2014). Physical activity-academic achievement: Student and teacher perspectives on the 'new' nexus.

- Physical Education and Sport Pedagogy*, 19(4), 436–449. doi:10.1080/17408989.2013.769510
- MacIntosh, B. J., Crane, D. E., Sage, M. D., Rajab, A. S., Donahue, M. J., McIlroy, W. E., & Middleton, L. E. (2014). Impact of a single bout of aerobic exercise on regional brain perfusion and activation responses in healthy young adults. *PLoS One*, 9(1), e85163. doi:10.1371/journal.pone.0085163
- Marker, A. M., & Staiano, A. E. (2015). Better together: Outcomes of cooperation versus competition in social exergaming. *Games for Health Journal*, 4(1), 25–30. doi:10.1089/g4h.2014.0066
- Martínez-López, E. J., Hita-Contreras, F., Moral-García, J. E., Grao-Cruces, A., Ruiz, J. R., Redecillas-Peiró, M. T., ... Martínez-Amat, A. (2015). Association of low weekly physical activity and sedentary lifestyle with self-perceived health, pain, and well-being in a Spanish teenage population. *Science & Sports*, 30(6), 342–351. doi:10.1016/j.scispo.2015.04.007
- Mayorga-Vega, D., Merino-Marban, R., Real, J., & Viciania, J. (2015). A physical education-based stretching program performed once a week also improves hamstring extensibility in schoolchildren: A cluster-randomized controlled trial. *Nutricion Hospitalaria*, 32(4), 1715–1721. doi:10.3305/nh.2015.32.4.9302
- Nicolò, A., & Girardi, M. (2016). The physiology of interval training: A new target to HIIT. *The Journal of Physiology*, 594(24), 7169–7170. doi:10.1113/JP273466
- Norris, E., Shelton, N., Dunsmuir, S., Duke-Williams, O., & Stamatakis, E. (2015). Physically active lessons as physical activity and educational interventions: A systematic review of methods and results. *Preventive Medicine*, 72, 116–125. doi:10.1016/j.ypmed.2014.12.027
- Piek, J. P., Dawson, L., Smith, L. M., & Gasson, N. (2008). The role of early fine and gross motor development on later motor and cognitive ability. *Human Movement Science*, 27(5), 668–681. doi:10.1016/j.humov.2007.11.002
- Poranen-Clark, T., von Bonsdorff, M. B., Törmäkangas, T., Lahti, J., Wasenius, N., Rääkkönen, K., ... Eriksson, J. G. (2016). Intellectual ability in young adulthood as an antecedent of physical functioning in older age. *Age and Ageing*, 45(5), 727–731. doi:10.1093/ageing/afw087
- Prochaska, J. J., Sallis, J. F., & Long, B. (2001). A physical activity screening measure for use with adolescents in primary care. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 155(5), 554–559. doi:10.1001/archpedi.155.5.554
- Roebers, C. M., Röthlisberger, M., Neuenschwander, R., Cimeli, P., Michel, E., & Jäger, K. (2014). The relation between cognitive and motor performance and their relevance for children's transition to school: A latent variable approach. *Human Movement Science*, 33, 284–297. doi:10.1016/j.humov.2013.08.011
- Román-Viñas, B., Marin, J., Sánchez-López, M., Aznar, S., Leis, R., Aparicio-Ugarriza, R., ... Serra-Majem, L. (2016). Results from Spain's 2016 report card on physical activity for children and youth. *Journal of Physical Activity and Health*, 13(11), S279–S283. doi:10.1123/jpah.2016-0308
- Rossi, A., Formenti, D., Vitale, J. A., Calogiuri, G., & Weydahl, A. (2015). The effect of chronotype on psychophysiological responses during aerobic self-paced exercises. *Perceptual and Motor Skills*, 121(3), 840–855. doi:10.2466/27.29.PMS.121c28x1
- Ruiz, J. R., Caverio-Redondo, I., Ortega, F. B., Welk, G. J., Andersen, L. B., & Martinez-Vizcaino, V. (2016). Cardiorespiratory fitness cut points to avoid

- cardiovascular disease risk in children and adolescents; what level of fitness should raise a red flag? A systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 50(23), 1451–1458. doi:10.1136/bjsports-2015-095903
- Ruiz-Ariza, A., Casuso, R. A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Effect of augmented reality game Pokémon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers & Education*, 116, 49–63. doi:10.1016/j.compedu.2017.09.002
- Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., de Loureiro, N. E. M., & Martínez-López, E. J. (2017). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1), 108–133. doi:10.1080/1750984X.2016.1184699
- Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., López-Serrano, S., & Martínez-López, E. J. (in press). The effect of cooperative high-intensity interval training on creativity and emotional intelligence in secondary school: A randomised controlled trial. *European Physical Education Review*.
- Santamaria-Fernández, P., & Fernández-Pinto, I. (2013). *Spanish adaptation of RIAS. Reynolds Intellectual Assessment Scales*. Madrid, Spain: TEA Ediciones.
- Santana, C. C. A., Azevedo, L. B., Cattuzzo, M. T., Hill, J. O., Andrade, L. P., & Prado, W. L. (2017). Physical fitness and academic performance in youth: A systematic review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 27(6), 579–603. doi:10.1111/sms.12773
- Seisdedos, N. (2012). *Spanish adaptation D2, attention test Brickenkamp* (4th revised edition). Madrid, Spain: TEA Ediciones.
- Sleiman, S. F., Henry, J., Al-Haddad, R., El Hayek, L., Haidar, E. A., Stringer, T., ... Ninan, I. (2016). Exercise promotes the expression of brain derived neurotrophic factor (BDNF) through the action of the ketone body β -hydroxybutyrate. *Elife*, 2, 5. doi:10.7554/eLife.15092.001
- 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. doi:10.1016/j.psychsport.2014.08.010
- Stroth, S., Kubesch, S., Dieterle, K., Ruchow, M., Heim, R., & Kiefer, M. (2009). Physical fitness, but not acute exercise modulates event-related potential indices for executive control in healthy adolescents. *Brain Research*, 1269, 114–124. doi:10.1016/j.brainres. 2009.02.073
- Sullivan, R. A., Kuzel, A. H., Vaandering, M. E., & Chen, W. (2017). The association of physical activity and academic behavior: A systematic review. *Journal of School Health*, 87(5), 388–398. doi:10.1111/josh.12502
- Thompson, W. R. (2017). Worldwide survey of fitness trends for 2018. *ACSMs Health Fitness Journal*, 20(6), 8–17.
- Tine, M. T., & Butler, A. G. (2012). Acute aerobic exercise impacts selective attention: An exceptional boost in lower-income children. *Educational Psychology*, 32(7), 821–834. doi:10.1080/01443410.2012.723612
- Tombaugh, T. N. (1996). *Test of memory malingering: TOMM*. North Tonawanda, NY: Multi-Health Systems.
- van den Berg, V., Saliasi, 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, 723. doi:10.3389/fpsyg.2016.00723
- van Hall, G. (2010). Lactate kinetics in human tissues at rest and during exercise. *Acta Physiologica*, 199(4), 499–508. doi:10.1111/j.1748-1716.2010.02122.x
- Vanhelst, J., Béghin, L., Duhamel, A., Manios, Y., Molnar, D., De Henauw, S., ... Gottrand, F. (2016). Physical activity is associated with attention capacity in adolescents. *The Journal of Pediatrics*, 168, 126–131. doi:10.1016/j.jpeds.2015.09.029
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J., & Oosterlaan, J. (2014). Physical exercise and executive functions in preadolescent children, adolescents and young adults: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 48(12), 973–979. doi:10.1136/bjsports-2012-091441
- Vitale, J. A., Bonato, M., Galasso, L., La Torre, A., Merati, G., Montaruli, A., ... Carandente, F. (2017a). Sleep quality and high intensity interval training at two different times of day: A crossover study on the influence of the chronotype in male collegiate soccer players. *Chronobiology International*, 34(2), 260–268. doi:10.1080/07420528.2016.1256301
- Vitale, J. A., La Torre, A., Baldassarre, R., Piacentini, M. F., & Bonato, M. (2017b). Ratings of perceived exertion and self-reported mood state in response to high intensity interval training. A crossover study on the effect of chronotype. *Frontiers in Psychology*, 8, 1232. doi:10.3389/fpsyg.2017.01232
- Vitale, J. A., & Weydahl, A. (2017). Chronotype, physical activity, and sport performance: A systematic review. *Sports Medicine*, 47(9), 1859–1868. doi:10.1007/s40279-017-0741-z
- Wechsler, D. (1945). A standardized memory scale for clinical use. *The Journal of Psychology*, 19(1), 87–95. doi:10.1080/00223980.1945.9917223
- Zach, S., & Shalom, E. (2016). The influence of acute physical activity on working memory. *Perceptual and Motor Skills*, 122(2), 365–374. doi:10.1177/0031512516631066
- Zervas, Y., Danis, A., & Klissouras, V. (1991). Influence of physical exertion on mental performance with reference to training. *Perceptual and Motor Skills*, 72(3), 1215–1221. doi:10.2466/PMS.72.4.1215-1221.

Author Biographies

Alberto Mezcua-Hidalgo Researcher in the Group HUM-943: Physical Activity applied to Education and Health, in the Faculty of Humanities and Educational Sciences, University of Jaen, Spain.

Alberto Ruiz-Ariza PhD in Physical Education. Researcher in the Group HUM-943: Physical Activity applied to Education and Health, in the Faculty of Humanities and Educational Sciences, University of Jaen, Spain.

Sara Suárez-Manzano Researcher in the Group HUM-943: Physical Activity applied to Education and Health, in the Faculty of Humanities and Educational Sciences, University of Jaen, Spain.

Emilio J. Martínez-López Associate Professor in the Department of Didactic of Music, Plastic and Corporal Expression, in the Faculty of Humanities and Educational Sciences, University of Jaen, Spain.

**Efecto agudo de los descansos físicamente activos en
la memoria, atención, cálculo matemático,
razonamiento lingüístico y creatividad en Educación
Secundaria**

**Mezcua-Hidalgo, A., Martínez-López, E.J., López-Serrano, S., & Ruiz-
Ariza, A. (2020).**

(submitted)

Efecto agudo de los descansos físicamente activos en la memoria, atención, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en Educación Secundaria

Alberto Mezcu-Hidalgo; Emilio J. Martínez-López; Sebastián López-Serrano; Alberto Ruiz-Ariza

Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación (Universidad de Jaén, España)

Resumen

El objetivo del presente estudio fue conocer el efecto agudo de dos tipos diferentes de descansos activos (baja y alta intensidad), llevados a cabo entre dos clases, sobre varias variables cognitivas como la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en jóvenes de Educación Secundaria. Participaron 136 adolescentes de Educación Secundaria de 12.92 ± 0.43 años. Se emplearon 3 grupos de estudio: 1) Grupo de control (GC) que permaneció sentado dentro de la clase; 2) Grupo experimental 1 (GE1) que realizó 1 descanso activo de 4 minutos a baja intensidad; y 3) Grupo experimental 2 (GE2) que llevó a cabo ejercicios cooperativos de alta intensidad. Para analizar los efectos de los diferentes tipos de descansos se empleó ANCOVA de medidas repetidas 3 Grupo (GC, GE1, GE2) x 2 Tiempo (pre, post). Se empleó como covariables la edad, sexo y estudios de la madre. Los resultados mostraron que los descansos activos mejoraron la memoria posterior de los participantes ($p < 0.001$). Descansos activos de baja y alta intensidad presentaron un efecto de mejora similar en la atención y concentración (21 y 25%, $p < 0.001$, respectivamente para los de baja intensidad). Se observaron mejoras en el cálculo matemático tras ambos descansos activos, sin embargo, las diferencias no han llegado a ser significativas. Los adolescentes no mostraron mejoras en la capacidad lingüística ni en la creatividad. Se sugiere la inclusión de descansos activos, preferiblemente a baja intensidad, para obtener beneficios a corto plazo en la atención, concentración y cálculo matemático en jóvenes de educación secundaria.

Palabras clave: adolescentes, active breaks, actividad física escolar, cognición, rendimiento cognitivo.

Introducción

Capacidades intelectuales como la memoria, atención, cálculo matemático, razonamiento lingüístico o la creatividad son consideradas clave para el rendimiento académico del alumnado (Li, O'Connor, O'Dwyer, & Orr, 2017; Lin et al., 2018). Todas ellas forman parte de un amplio espectro de funciones cognitivas que ayudan en el proceso de aprendizaje de los jóvenes, por tanto, contribuir a su desarrollo forma parte de los objetivos educativos universales (Ruiz-Ariza et al., 2017). En la última década han proliferado los estudios que han relacionado la actividad física (AF) sistemática con un más alto rendimiento cognitivo (RC) (Li et al., 2017; Ruiz-Ariza et al., 2017). Sin embargo, resultados recientes ponen de manifiesto que los jóvenes son cada vez más sedentarios y solo entre el 15-30% de los adolescentes llegan a ser físicamente activos (Roman-Viñas et al., 2018).

Dentro de la escuela, las aproximadamente dos horas semanales de Educación Física (EF) es prácticamente el único estímulo normalizado en el que el alumnado practica AF de forma intencionada. Algunas evidencias muestran incluso que tan solo entre 10-20 minutos son dedicados a AF de intensidad moderada-vigorosa (Gibson et al., 2008). Con el objetivo de aumentar la práctica de AF en el contexto educativo, es cada vez más popular la inclusión de estímulos como los descansos activos, que consisten en aprovechar las pausas entre clases para realizar AF a una intensidad de moderada a vigorosa durante un periodo que puede oscilar entre 2 y 15 minutos (Janssen et al., 2014; Kahn et al., 2002; Ma et al., 2014).

Un programa de descansos activos muy destacado a nivel internacional es el conocido como *TAKE10!* (<https://take10.net/>). Este programa combina la instrucción académica con pausas de AF de 10 minutos. Su implantación en varios países ha demostrado incrementos en la cantidad de AF diaria, disminución del sedentarismo (Ribeiro y Alves, 2014), reducción del peso corporal (Donnelly et al., 2009), mejoras a nivel cognitivo (atención, concentración, memoria) y mejoras en el rendimiento académico (Donnelly y Lambourne, 2011; Rasberry et al., 2011; Howie y Pate, 2012). En España también se están implantando programas de descansos activos como el programa *DAME10* a través del Ministerio (Abad

2014). Se trata de un modelo que parte del anteriormente citado *TAKE10!* y que está disponible para su uso desde finales de 2014. Las actividades del programa van dirigidas al alumnado de 2º ciclo de Educación Infantil, a toda la etapa de Educación Primaria y a primer y segundo curso de Educación Secundaria Obligatoria (ESO). Solís (2019), implementó este programa en alumnado de primer curso de ESO y comprobó que la AF de los participantes aumentó un 50% durante el horario escolar, el 75,8% se concebían más activos, un 58,5% se sentían más motivados y el 51% mostraba mejor actitud tras las actividades. Entre el profesorado involucrado, el 87,5% consideró positiva la implementación diaria de este programa de descansos activos.

En línea con lo anterior, Mullins et al. (2019) han mostrado que los alumnos participantes en los *Programas de Descansos Activos en Clase* (CPAB siglas en inglés) manifestaron que les pareció muy divertidos (86%), les proporcionaron un adecuado periodo de descanso durante el día escolar (88%), fueron muy buenos para su salud (94%) y les ayudaron a sentirse más preparados para aprender (71%) y aprender mejor (50%). La totalidad de los profesores informaron que sintieron que sus alumnos realmente disfrutaron de los CPAB, que alentar a los estudiantes a estar físicamente activos era muy importante (83%) y que sentían mucha confianza en que ellos mismos podrían liderar los CPAB (72%). Por otro lado, Aguilar et al. (2018) realizaron un programa de descansos activos llamado “*Móvetel5*” con alumnos de entre 7-12 años durante 15 minutos en el intercambio entre las dos primeras horas del horario escolar con una intensidad media-alta. Los resultados mostraron que un 71,1% de los alumnos redujeron su grasa corporal con una disminución del -1,33%. La velocidad-coordinación de los alumnos mejoró en un 69,63% y la resistencia en un 62,22%. En otro reciente estudio llevado a cabo por Pastor-Vicedo et al. (2019) sobre descansos activos en niños de educación infantil, se muestra como el aumento de AF con estos programas cortos se relaciona con una mejora del rendimiento cognitivo.

El estudio de Suárez-Manzano, Ruiz-Ariza, López-Serrano y Martínez López (2018), analizó los efectos de nueve intervenciones, basadas en descansos físicamente activos, sobre la atención de los jóvenes. Se comprobó que todos los estudios empleaban ejercicio físico a intensidad moderada-vigorosa de una duración entre 5-30 min. En siete estudios

obtuvieron mejoras y en dos no obtuvieron cambios. Se observó la influencia de la duración e intensidad de la intervención y se constató una controversia entre los diferentes estudios. Los datos muestran que la mayoría de los estudios son de carácter crónico basados principalmente en varias sesiones de estímulo. Entre los escasos trabajos que analizan el efecto agudo, Altenburg et al. (2016), examinaron el efecto de 1 y 2 descansos activos de 20 min de duración al 40-60% de la frecuencia cardiaca máxima, durante 1 jornada escolar, en niños de 10-13 años de los Países Bajos. Los participantes que realizaron 2 descansos activos tuvieron puntuaciones significativamente mejores en comparación con los niños que realizaron 1 descanso o los que permanecieron sentados toda la mañana. Finalmente, el reciente estudio de Mezcua-Hidalgo et al. (2019) muestra como comenzar la jornada escolar con 16 minutos de AF cooperativa, interválica a alta intensidad, puede afectar a la atención-concentración durante las 2 horas posteriores.

Los anteriores hallazgos muestran como la mayoría de los estudios emplean estímulos a medio-largo plazo y a una intensidad moderada-vigorosa. Sin embargo, muy poco se ha investigado aún de los efectos inmediatos sobre la cognición de cuñas cortas en el tiempo (en descansos de 4-5 minutos entre clases) aplicadas a diferentes intensidades. En base a lo anterior, el objetivo del presente estudio fue conocer el efecto agudo de dos tipos diferentes de descansos activos (baja y alta intensidad) llevados a cabo durante 4' de duración y controlados con pulsometría, en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad en jóvenes de Educación Secundaria. Se hipotetizó que aquellos jóvenes que llevaban a cabo el descanso activo de más intensidad obtendrían puntuaciones inmediatas más altas en las variables de estudio.

Método

Diseño y participantes

La tabla 1 muestra las características antropométricas, sociodemográficas y valores cognitivos iniciales de los participantes. Participaron en el estudio 136 jóvenes de 12.92 ± 0.43 años (rango = 12-14 años), con un IMC = 20.49 ± 3.55 kg/m² y un promedio de ordenadores en casa de 2.26 ± 1.40 (rango = 0-5). Los participantes realizaban un promedio

de 2.98 ± 1.52 días/semana de actividad física de moderada a vigorosa (MVPA) (rango = 0-7). El 64.4% de las madres de los participantes tenía estudios universitarios. Se asignó al azar a los estudiantes en tres grupos: 1) Grupo de control (GC) [n = 48] que permaneció dentro de la clase realizando los descansos tradicionales, sin estímulo preestablecido y pudiéndose únicamente permanecer sentados en la clase; 2) Grupo experimental 1 (GE1) [n = 42] que realizó 1 descanso activo de 4 minutos a baja intensidad mediante una caminata alrededor del edificio del Centro; y 3) Grupo experimental 2 (GE2) [n = 48] que llevó a cabo ejercicios dinámicos cooperativos de alta intensidad (Burpees, saltos en estrella, carrera en zig-zag, carreras cortas de ida y vuelta, etc...) a modo de 40 segundos de actividad + 20 segundos de descanso. El control de la intensidad fue monitorizado durante el estudio y se llevó a cabo de forma centralizada, inalámbrica e individualizada mediante Seego Realtracksystems® [España] (<http://seego.realtracksystems.com/>).

Tabla 1. Características antropométricas, sociodemográficas y cognitivas de los participantes al inicio del estudio. Los valores son presentados como media y desviación estándar o porcentaje. GC: Grupo de control, GE1: Grupo experimental 1, GE2: Grupo experimental 2.

Variable		Todos (n=136)	GC (n = 48)	GE1 (n =42)	GE2 (n =46)	P
Edad (años)		12.92 $\pm$ 0.43	13.21 $\pm$ 0.41	13.14 $\pm$ 0.35	12.72 $\pm$ 0.34	0.145
Sexo (%)	Chico	59 (43.4)	15 (31.3)	16 (38.1)	28 (60.9)	0.011
	Chica	77 (56.6)	33 (68.8)	26 (61.9)	18 (39.1)	
Peso (kg)		51.38 $\pm$ 10.22	54.48 $\pm$ 9.00	50.15 $\pm$ 9.90	49.59 $\pm$ 11.33	0.222
Altura (m)		1.58 $\pm$ 0.07	1.61 $\pm$ 0.074	1.58 $\pm$ 0.049	1.56 $\pm$ 0.07	0.099
IMC (kg/m ²)		20.49 $\pm$ 3.55	20.76 $\pm$ 3.055	19.83 $\pm$ 3.86	20.87 $\pm$ 3.75	0.571
Ordenadores en casa (n)		2.26 $\pm$ 1.40	2.29 $\pm$ 1.23	2.24 $\pm$ 1.32	2.26 $\pm$ 1.63	0.984
MVPA (días/semana)		2.98 $\pm$ 1.52	2.78 $\pm$ 1.75	3.26 $\pm$ 1.14	2.93 $\pm$ 1.56	0.321
Estudios de la madre (%)	Sin estudios	26 (23.0)	8 (17.8)	14 (35.0)	4 (14.3)	0.019
	E. Primaria	12 (10.6)	6 (13.3)	2 (5.0)	4 (14.3)	
	E. Secundaria	16 (14.2)	2 (4.4)	6 (15.0)	8 (28.6)	
	E. Universitarios	59 (64.4)	29 (45.0)	18 (42.9)	12 (52.2)	
Memoria		4.90 $\pm$ 1.55	5.15 $\pm$ 1.65	5.05 $\pm$ 1.44	4.50 $\pm$ 1.50	0.106
Atención selectiva		136.76 $\pm$ 30.42	139.08 $\pm$ 28.13	134.57 $\pm$ 38.46	136.29 $\pm$ 23.66	0.779
Concentración		131.48 $\pm$ 30.80	135.13 $\pm$ 34.19	127.29 $\pm$ 31.82	131.52 $\pm$ 25.38	0.488
Cálculo Matemático		5.91 $\pm$ 2.43	5.92 $\pm$ 2.54	5.90 $\pm$ 2.55	5.91 $\pm$ 2.23	1.000
Razonamiento Lingüístico		20.25 $\pm$ 4.31	21.08 $\pm$ 5.21	20.10 $\pm$ 4.28	19.50 $\pm$ 2.98	0.205
Creatividad		11.75 $\pm$ 4.44	11.33 $\pm$ 4.82	12.10 $\pm$ 2.88	11.86 $\pm$ 5.23	0.706

Antes de la participación voluntaria, los padres o tutores legales de todos los participantes firmaron el consentimiento informado por escrito. Los jóvenes con limitaciones físicas o contraindicaciones médicas para realizar ejercicio físico intenso fueron excluidos. La estructura utilizada para la formación de grupos y las características de intervención se muestran en la Figura 1. Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Jaén. El diseño cumple con la normativa española para la investigación clínica en humanos (Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica), con la normativa para la protección de datos privados (Ley Orgánica 15/1999) y con los principios de la Declaración de Helsinki (2013 versión, Brasil).

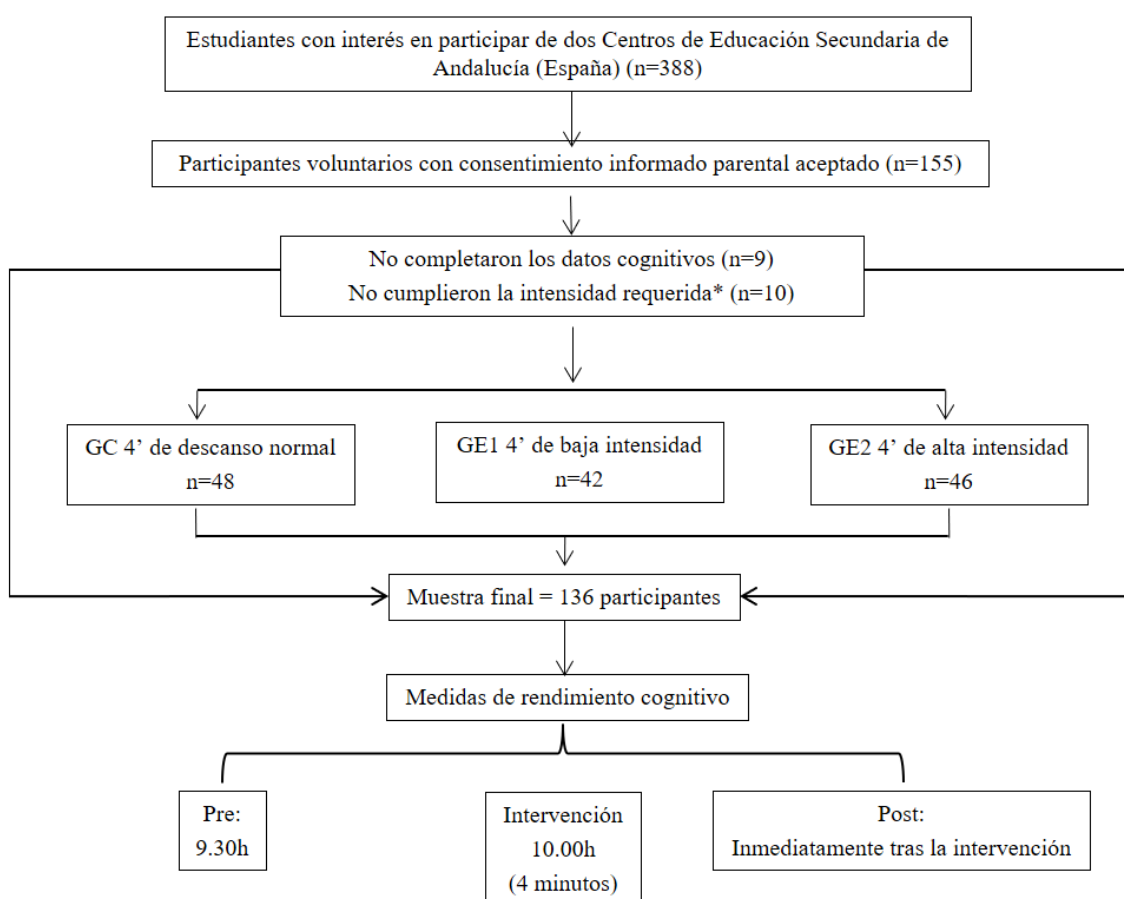


Figura 1. Diagrama de flujo del estudio. GC = Grupo control; GE1= Grupo experimental 1; GE2 = Grupo experimental 2. * Participantes que no cumplen la intensidad requerida (< 130ppm durante el estímulo de baja intensidad y > 150ppm durante el estímulo de alta intensidad).

Instrumentos de medida

Memoria

Para evaluar la memoria de los estudiantes se empleó una prueba *ad hoc* de un minuto de duración. Este test, está basado en las ideas originales de Tombaugh (1996) y Wechsler (1945) y en Escala de Evaluación Intelectual de Reynolds (RIAS; Santamaría-Fernández y Fernández-Pinto, 2013). Para la administración de esta prueba se proyectó, durante 20 segundos y en una pantalla de 3 x 2 metros, un póster con 15 cartas de la baraja española seleccionadas al azar, Inmediatamente después, los participantes tuvieron 40 segundos para escribir en una hoja de papel estandarizada tantas cartas como pudieron recordar. Se contabilizó el número total de respuestas correctas (rango 0-15) obtenidas por cada participante. Antes de la prueba, verificamos que todos los participantes conocían la estructura y el contenido de las 40 cartas de la baraja española. Esta prueba de memoria se ha utilizado previamente en otras investigaciones con adolescentes (Mezcua-Hidalgo et al., 2019), con una buena fiabilidad test-retest (n = 21 participantes tras 48 horas) de 0.919 (Ruiz-Ariza, Casuso, Suárez-Manzano y Martínez-López, 2018).

Atención-concentración

La atención selectiva y la capacidad de concentración se evaluaron con la prueba *d2* de Brickenkamp en la versión en español (Seisdedos, 2012). Los participantes disponían de un corto tiempo para completar el test (20 segundos para cada fila). Esta prueba cuantifica la velocidad de percepción visual y las capacidades de concentración, evaluando la capacidad de un individuo para enfocarse selectiva de manera rápida y precisa en ciertos aspectos relevantes de una tarea, mientras ignora otros aspectos irrelevantes. La administración completa de esta prueba de papel y lápiz es de cuatro minutos y 40 segundos. Calculamos la puntuación de atención selectiva utilizando la siguiente fórmula: [número de elementos procesados - (omisiones + errores)]. Además, calculamos la concentración con: (número de elementos correctos - número de errores). Esta prueba se ha utilizado previamente en otras investigaciones recientes, con una buena fiabilidad test-retest (n = 21 participantes tras 48 horas) de 0.911 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Cálculo Matemático

Se realizó una adaptación de la escala de cálculo matemático llevada a cabo por Hillman et al. (2009). Con esta prueba, se pretendió comprobar la capacidad de procesamiento, velocidad y resolución de operaciones matemáticas. Este test consistía en la presentación de 2 columnas de operaciones matemáticas sencillas basadas en sumas y restas con 6 dígitos. Para realizar la prueba se disponía de un minuto en el cual se debía de resolver el mayor número posible de operaciones. Para evaluar dicha prueba, se cuenta el número de aciertos del total de las operaciones realizadas. Estudios previos muestran una fiabilidad test–retest ($n = 21$ participantes tras 48h) de 0.887 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Velocidad de Razonamiento Lingüístico

La velocidad de razonamiento lingüístico se midió mediante un test *ad hoc* basado en el estudio de Lervåg y Aukrust (2010). El objetivo de esta prueba fue analizar la velocidad lectora y comprensión del alumnado. Ésta prueba consistió en la presentación de 30 filas de 4 palabras cada una establecida de forma aleatoria. De estas palabras, 3 eran pertenecientes al mismo campo semántico mientras la cuarta palabra no presentaba relación alguna con las otras. Los alumnos que realizaban la prueba debían tachar, durante el periodo de un minuto, el mayor número posible de palabras “*intrusas*” o que no presentaban relación con las demás. La forma de evaluación del test consistió en la suma de las palabras seleccionadas de forma correcta. Estudios previos muestran una fiabilidad test–retest ($n = 21$ participantes tras 48h) de 0.841 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Creatividad

Para evaluar esta variable se utilizó la prueba de inteligencia creativa (CREA) creada por Corbalán-Berná et al. (2010). Esta prueba de pensamiento divergente está dirigida a generar preguntas como indicador de talento creativo, originalidad y efectividad. Estas preguntas se llevan a cabo con un estímulo y un tiempo determinados, donde cada uno de ellos debe respaldarse en un nuevo esquema cognitivo que, a su vez, depende de al menos otros dos. A partir de una imagen, los participantes tienen que elaborar tantas preguntas como sea posible durante 4 minutos. Se asignó un puntaje a cada pregunta (puntuajes posibles: 1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto) según su calidad y complejidad. La prueba CREA permite una

mejor gestión de los esquemas cognitivos ya que no contempla la pregunta como producto final. La validez predictiva y concurrente de CREA fue alta en comparación con otras baterías creativas como Guilford ($p < 0.005$).

Variables de confusión controladas

Las variables de confusión utilizadas fueron: La edad de los sujetos, sexo y el nivel escolar de las madres. Para controlar dichas variables se preguntó en un formulario sociodemográfico a los sujetos su edad y sexo (Ruiz-Ariza et al., 2016). El nivel escolar de la madre también se obtuvo con el mismo formulario y se tuvo en cuenta ya que tiene una alta correlación con el rendimiento cognitivo (Esteban-Cornejo et al., 2014).

Análisis de datos

La comparación de las variables continuas y categóricas en función de la participación entre diferentes descansos (GC, GE1, GE2) se llevó a cabo mediante ANOVA de un factor (Grupo) y χ^2 , para las variables continuas y categóricas respectivamente. La normalidad y homocedasticidad fue comprobada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y el test de Levene, respectivamente. Para analizar los efectos de los diferentes tipos de descansos se empleó ANCOVA de medidas repetidas 3 Grupo (GC, GE1, GE2) x 2 Tiempo (pre, post). Se empleó como variables dependientes cada medida cognitiva, como factor fijo el Grupo y como covariables la edad, sexo y estudios de la madre. El ajuste post hoc se llevó a cabo mediante Bonferroni. El tamaño del efecto fue calculado como η^2 parcial. Para cuantificar la magnitud de los efectos entre grupos en cada variable dependiente se empleó la d de Cohen. Los valores de Cohen $0 \leq 0.8$ indican tamaño del efecto grande, valores $0.5 < d < 0.8$ indica tamaño medio y valores $d \geq 2 < 5$ indican tamaño pequeño (Cohen, 1998). Los análisis se realizaron por separado para cada variable dependiente. En todas las medidas se utilizó como valor criterial de contraste $p < 0.05$. El porcentaje de cambio entre grupos con diferencias significativas se calculó como sigue: [(medida GE–medida GC) / medida GC] x 100. Los análisis fueron realizados utilizando SPSS v.22.

Resultados

Análisis de la intensidad de los diferentes tipos de descansos empleados

El análisis ANOVA que empleó como variables dependientes la frecuencia cardiaca (FC) mínima, máxima y promedio de ambas y como factor fijo la variable Grupo (GC, GE1, GE2) mostró diferencias estadísticamente significativas en todos los casos ($p < 0.001$, fig. 2). La comparación por pares posterior de la frecuencia cardiaca mínima (GC = 75.37 ± 12.01), GE1 = 94.58 ± 13.43 y GE2 = 151.56 ± 42.78 pulsaciones/minuto (ppm) y máxima (GC = 98.40 ± 17.41 , GE1 = 129.41 ± 15.68 y GE2 = 168.95 ± 38.12 ppm) mostraron diferencia significativas en todos los pares ($p = 0.002$ para la más grande en la FC mínima y todos $p < 0.001$ para la FC máxima, respectivamente).

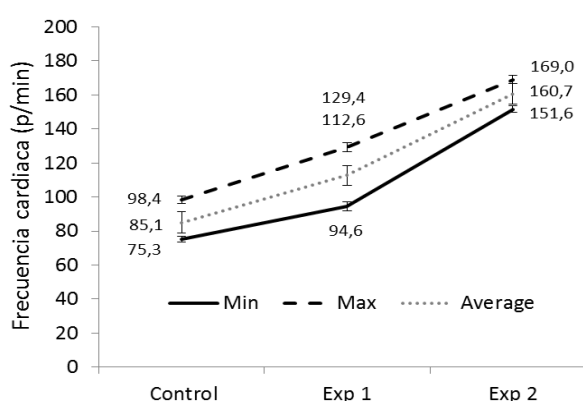


Figura 2. Control de la frecuencia cardiaca. Valores mínimos, máximos y medios de la intensidad de cada grupo.

Análisis ANCOVA del efecto de 3 tipos diferentes de descansos controlados con SEEGO sobre variables cognitivas

Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran los resultados de análisis ANCOVA en el que se empleó cada medida cognitiva como variable dependiente, el Grupo (GC, GE1 y GE2) como factor fijo y la edad, sexo y estudios de la madre como covariables.

Los resultados de memoria (fig. 3) no mostraron ningún efecto principal ni en el Tiempo ($p = 0.375$) ni en el Grupo ($p = 0.082$) pero si fue significativa la interacción Tiempo x Grupo $F(2,118) = 5.500$, $p = 0.005$, $\eta^2_{parcial} = 0.085$, $1-\beta = 0.843$. Un análisis más detallado de la interacción mostró que la memoria había mejorado en el GE1 (Pre: 5.05 ± 1.44 u.a. [unidades arbitrarias] vs. Post: 6.05 ± 1.78 u.a.; $p = 0.006$) y en el GE2 (Pre: 4.50 ± 1.50

u.a. vs. Post: 5.82 ± 2.06 u.a., $p < 0.001$), respectivamente, pero no se hallaron diferencias significativas en el GC ($p > 0.05$).

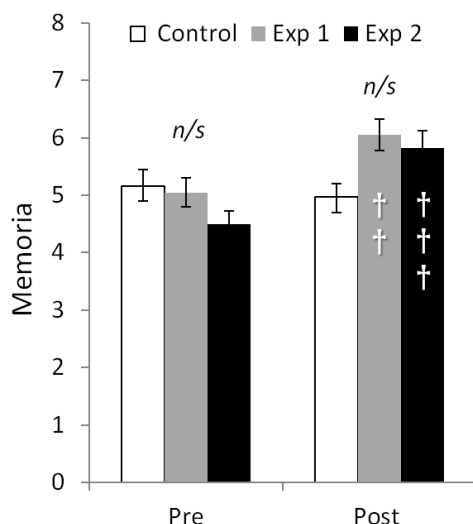


Fig. 3. Resultados de memoria en adolescentes después de descansos activos. †† y ††† denotan $p < 0.01$ y $p < 0.001$ comparada la medida pre en el mismo grupo. n/s denota no diferencias significativas entre grupos en la misma medida.

Los resultados de atención selectiva (fig. 4A) no mostraron efecto principal Tiempo ($p = 0.384$) pero sí fue significativo la interacción Tiempo x Grupo $F(2,116) = 9.347$, $p < 0.001$, η^2 parcial = 0.139, $1-\beta = 0.976$ y el efecto principal Grupo $F(2,116) = 3.593$; $p = 0.031$; η^2 parcial = 0.058; $1-\beta = 0.656$. Un análisis más detallado de la interacción mostró que la atención en la medida post había mejorado significativamente respecto a la medida pre tanto en el GE1 como en el GE2 (ambos $p < 0.001$) pero no en el GC ($p > 0.05$). El análisis univariante mostró que la atención de los participantes del GE1 y GE2 habían aumentado significativamente respecto al grupo de control en la medida post mejorando un 21.1% (172.50 ± 25.48 u.a. vs. 142.39 ± 26.0 u.a., $p < 0.001$, d Cohen = 0.504) y un 14.7% (163.36 ± 31.03 u.a. vs. 142.39 ± 26.04 u.a., $p = 0.024$, d de Cohen = 0.343), respectivamente. No se hallaron diferencias entre grupos experimentales en la medida post ($p > 0.05$).

De forma muy similar a la atención, los resultados de concentración (fig. 4B) no mostraron efecto principal Tiempo ($p = 0.239$) pero sí fue significativo la interacción Tiempo x Grupo $F(2,116) = 11.572$, $p < 0.001$, η^2 parcial = 0.166, $1-\beta = 0.993$ y el efecto principal Grupo

$F(2,116) = 3.140$; $p = 0.047$; $\eta^2_{\text{parcial}} = 0.051$; $1-\beta = 0.593$. Un análisis más detallado de la interacción mostró que la concentración en la medida post había mejorado significativamente respecto a la medida pre tanto en el GE1 como en el GE2 (ambos $p < 0.01$) pero no en el GC ($p > 0.05$). El análisis univariante mostró que la concentración de los participantes del GE1 había aumentado un 25.5% respecto al GC en la medida post (174.12 ± 40.14 u.a. vs. 138.71 ± 25.52 u.a., $p < 0.001$, d de Cohen = 0.465). El resto de diferencias entre grupos en la medida post no fueron significativas ($p > 0.05$).

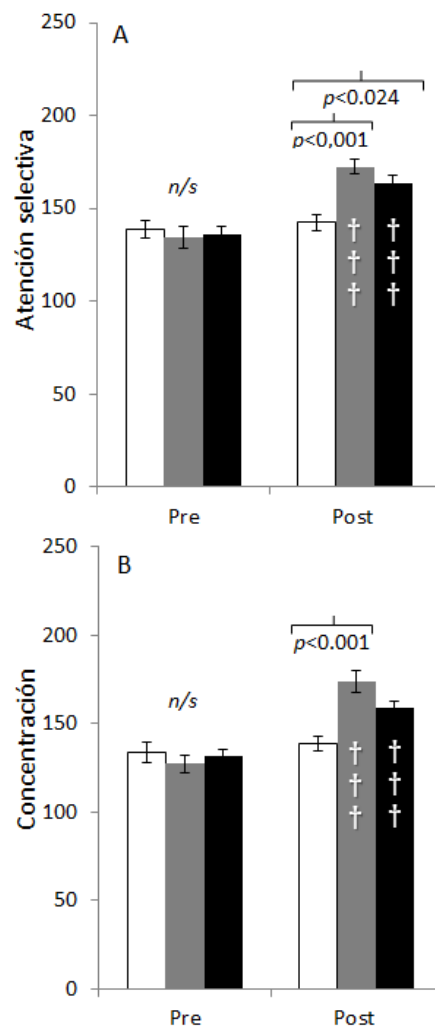


Figura 4. Resultados de atención selectiva y concentración en adolescentes después de descansos activos. ††† denota $p < 0.001$ comparada la medida pre en el mismo grupo. n/s denota no diferencias significativas entre grupos en la misma medida.

El análisis de resultados de cálculo matemático (fig. 5A) no mostró efecto principal Tiempo ($p = 0.475$), interacción Tiempo X Grupo ($p = 0.471$), ni efecto principal Grupo $p = 0.244$. Después de la intervención, se observaron mayores puntuaciones de cálculo matemático tanto en GE1 y GE2 respecto al GC, sin embargo, ninguna diferencia llegó a ser significativa (todos $p > 0.05$). El análisis de resultados de Test lingüístico (fig. 5B) no mostró efecto principal Tiempo ($p = 0.959$), interacción Tiempo x Grupo ($p = 0.908$), ni efecto principal Grupo ($p = 0.573$).

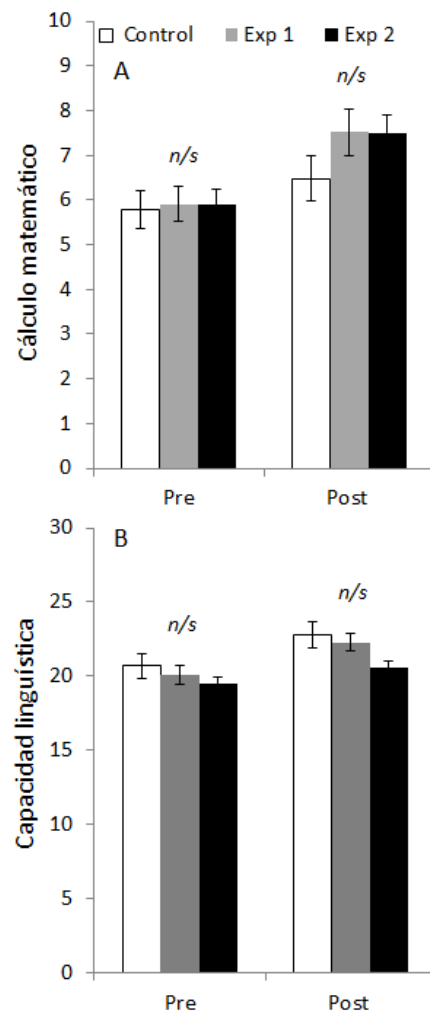


Figura 5. Resultados de cálculo matemático y capacidad lingüística en adolescentes después de descansos activos. n/s denota no diferencias significativas entre grupos en la misma medida.

El análisis de resultados de creatividad (fig. 6) mostró el efecto principal Tiempo $F(1,116) = 4.424$, $p = 0.038$, $\eta^2_{\text{parcial}} = 0.036$, $1-\beta = 0.550$) pero no fue significativo ni el efecto principal Grupo ($p = 0.133$) ni la interacción Tiempo x Grupo ($p = 0.333$).

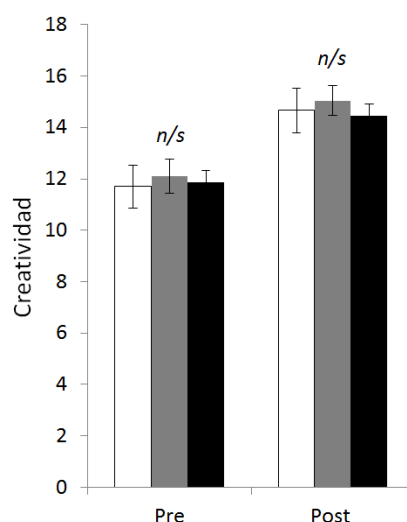


Figura 6. Resultados de creatividad en adolescentes después de descansos activos. n/s denota no diferencias significativas entre grupos en la misma medida.

Discusión

El objetivo del presente estudio fue conocer el efecto agudo de un estímulo de descanso activo de baja y otro de alta intensidad, tras las dos primeras horas de clase, sobre diferentes variables cognitivas en adolescentes. Se comprobó que descansos activos tanto a baja como a alta intensidad mejoran la memoria. El grupo que realizó el descanso activo de baja intensidad presenta un efecto de mejora del 21 y 25% en la atención y concentración respectivamente cuando se compara con el grupo control. Por su parte, el descanso activo de alta intensidad presenta un efecto de mejora del 14.7% en la atención. Se observan mejoras en el cálculo matemático en ambos GEs pero las diferencias no llegan a ser significativas. La inclusión de descansos activos no produce efecto de mejora en otras variables cognitivas como la capacidad lingüística o la creatividad. No se ha observado efecto negativo en la puntuación de ninguna variable de estudio después de llevar a cabo el descanso activo. Se sugiere la inclusión de descansos activos, preferiblemente a baja intensidad, para obtener beneficios a corto plazo sobre la atención, concentración y cálculo en jóvenes de educación secundaria.

De los estudios que usan descansos activos, la duración e intensidad de las intervenciones presentan controversia. Algunos utilizan una duración de entre 10-15min de intensidad moderada a vigorosa (Donnelly y Lambourne, 2011; Janssen et al., 2014; Schmidt et al., 2016; Wilson et al., 2016). Otros analizaron el efecto de descansos activos, pero comparando intervenciones de corta, media y larga duración (Howie et al., 2014; Kubesch et al., 2009). El estudio de Ma et al. (2015) que empleó un estímulo similar al nuestro (4 minutos de FUNtervals a alta intensidad) obtuvo mejoras en la atención. Por su parte, Altenburg et al. (2016) propusieron realizar uno o dos descansos activos, pero de una duración de 20min (40-60% de la FC máxima). Los que llevaron a cabo 2 descansos activos obtuvieron mejores resultados cognitivos. La revisión sistemática de Suárez-Manzano et al. (2018), mostró que el 78% de los estudios analizados obtuvieron mejoras sobre la atención de los descansos activos, sin embargo, Kubesch et al. (2009) no encontrando cambios tras un estímulo de corta duración (5min).

Donnelly y Lambourne (2011) aplicaron el programa *TAKE10!* durante tres años (10-15min cada descanso) y observaron mejoras en la atención, aumentando además el rendimiento académico. Sin embargo, Wilson et al. (2016) al evaluar el efecto a medio-largo plazo de realizar 10min de descansos activos (3-4 semanas, 3-5 días/semana) no obtuvieron diferencias en atención. Por otro lado, Howie et al. (2014) al comparar el efecto inmediato de 5, 10 y 20 min de descansos activos no obtuvieron diferencias en el grupo de 20 min, sí obtuvieron diferencias significativas en la condición 10 min y la condición de 5 min resultó positiva solo para chicas. Grieco et al. (2016), analizaron en niños de 7-12 años el efecto de realizar AF moderada, vigorosa, o juegos sedentarios durante 10-15min dentro de la jornada escolar. El GC empeoró los resultados en variables como la memoria o la atención, el grupo que hizo juegos sedentarios no obtuvo diferencias y los grupos de AF moderada y vigorosa obtuvieron mejoras significativas respecto a los demás. Por su parte, Coe et al. (2006), analizaron el efecto de la intensidad en jóvenes de 10-11 años, observando que el grupo de intensidad moderada no reflejó cambios, mientras que el grupo que trabajó a intensidad vigorosa sí obtuvo mejoras significativas frente al GC. Estos hallazgos difieren

en parte con los del presente estudio que mostró mayores beneficios del grupo que realizó AF a baja intensidad.

Los efectos positivos de los descansos activos en el comportamiento son consistentes con los resultados de estudios que usan descansos activos más largos (Carlson et al., 2015; Whitt-Glover, Ham & Yancey, 2011). Watson et al. (2019), implementaron el programa “Acti-Break”, basado en 5 minutos de descansos activos a intensidad moderada, tres veces al día, durante 6 semanas. Las actividades incorporaron gran variedad de juegos. Por ejemplo: Los estudiantes se mueven alrededor del aula con juegos musicales. Cuando la música se detiene, el maestro grita una parte del cuerpo y los estudiantes regresan a su silla y colocan la parte del cuerpo seleccionada en su silla. La música comienza de nuevo y el juego continúa. Los resultados mostraron que estos descansos activos mejoraron el comportamiento en la clase, sobre todo en chicos. Esto sugiere que los descansos activos pueden afectar el comportamiento del aula de manera diferente para diferentes estudiantes. Futuros trabajos deberían también analizar las posibles diferencias entre chicos-chicas.

En la última revisión sistemática con meta-análisis llevada a cabo por Masini et al. (2019), se muestra como los efectos de los descansos activos sobre variables cognitivas no son aún concluyentes. Una posible explicación de la controversia existente puede estar relacionada con la variabilidad en las medidas utilizadas en los estudios. Otra posible explicación puede estar relacionada con la duración y el tipo (con o sin compromiso cognitivo) de las intervenciones. Quizás para obtener mejores beneficios habría que incluir AF cognitivamente atractiva, ya que al parecer puede ser más beneficiosa para las funciones cognitivas que realizar simplemente AF aeróbica (Schmidt et al., 2015). Por otro lado, al igual que en nuestro trabajo usando pulsometría como control, Watson et al. (2017) encontró que las intervenciones de AF en el aula condujeron a mejoras cuando se usó herramientas de monitoreo.

Los hallazgos agudos de los descansos activos pueden ser debidos a varios mecanismos, tanto fisiológicos como socio-conductuales provocados por la intervención de AF. Por ejemplo, la simple activación mediante AF ha sido demostrada como uno de los

razonamientos por los que se provoca una mejora de la función cerebral debido al aumento de la irrigación sanguínea y oxigenación cerebral (Ruiz-Ariza et al., 2017). La práctica de AF incrementa también el factor neurotrófico derivado del cerebro, que ayuda a la supervivencia celular y plasticidad cerebral (Huang et al., 2015). En tercer lugar, la práctica de ejercicio físico equilibra los niveles de cortisol, provocando la disminución de ansiedad y estrés (Hillier, Murphy y Ferrara, 2011). Todos estos hechos explicarían el aumento de la memoria, atención-concentración y eficacia en el cálculo matemático.

Limitaciones y fortalezas

Como limitaciones, resulta importante destacar que no se han controlado variables de AF extraescolar que podría influir en los resultados o los tests podrían llevar al aprendizaje de los mismos o cansancio por realizarlos dos veces en un periodo de tiempo tan corto. Como fortalezas, los descansos activos se pueden introducir fácilmente en el contexto escolar de educación secundaria, ya que hasta el momento los descansos entre clases era un tiempo que no disponía de ningún plan para su aprovechamiento. Los últimos estudios han comprobado como por ejemplo puede ser útil para aumentar la AF (Catella et al., 2019), sin embargo, su efecto depende del rigor y cumplimiento en función de las recomendaciones obtenidos en estudios científicos como el que aquí se presenta (Erwin et al., 2011). Este trabajo puede ser de utilidad para que los docentes sean conscientes de la importancia de las intervenciones de AF en el contexto escolar y su posible contribución para mejorar aspectos cognitivos.

Conclusión

Se concluye que el descanso activo de baja intensidad presenta un efecto de mejora mayor que el de alta intensidad, aunque ambos pueden afectar positivamente a la memoria y atención inmediata tras el estímulo. Se observan mejoras en el cálculo matemático tras descansos activos, tanto de baja como alta intensidad, sin embargo, las diferencias no han llegado a ser significativas. La inclusión de un descanso físicamente activo no produce mejoras en la capacidad lingüística ni en la creatividad posterior de los jóvenes. No se ha observado efecto negativo en ninguna variable de estudio después de llevar a cabo el descanso activo. Se sugiere incluir descansos activos entre clases, de unos 4', ya que

pueden mejorar de forma inmediata aspectos como la memoria, atención-concentración o el cálculo.

Referencias bibliográficas

- Abad, B., Cañada, D., & Cañada, M. (2014). “¡Dame 10!” Descansos Activos Mediante Ejercicio físico. Disponible en https://www.mscbs.gob.es/profesionales/saludPublica/prevPromocion/Estrategia/docs/Dame10_Completo.pdf.
- Aguilar Jurado, M.A., Gil Madrona, P., Ortega Dato, J.F., & Rodríguez Blanco, O.F. (2018). Mejora de la condición física y la salud en estudiantes tras un programa de descansos activos. *Revista Española de Salud Pública*, 92, e201809068.
- Altenburg, T.M., Chinapaw, M.J.M., & Singh, A.S. (2016). Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: a randomized controlled trial. *Journal of Sciences and Medicine Sport*, 19(10), 820–824. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.12.003>
- Carlson, J.A., Engelberg, J.K., Cain, K.L. (2015). Implementing classroom physical activity breaks: associations with student physical activity and classroom behavior. *Preventive Medicine*, 81, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.08.006>
- Catella, P., Mancusi, C., Pecoraro, P., et al. (2019). Classroom active breaks: a feasibility study in Southern Italy. *Health Promotion International*: daz033. <http://dx.doi.org/10.1093/heapro/daz033>
- Coe, D. P., Pivarnik, J. M., Womack, C. J., Reeves, M. J., & Malina, R. M. (2006). Effect of physical education and activity levels on academic achievement in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(8), 1515–1519. <https://doi.org/10.1249/01.mss.0000227537.13175.1b>

- Corbalán-Berná, J., & Limiñana-Gras, R. M. (2010). El genio en una botella. El test CREA, las preguntas y la creatividad. Introducción al monográfico “El test CREA, inteligencia creativa”. *Anales de psicología*, 26(2), 197-205. <https://revistas.um.es/analesps/article/view/108981>
- Donnelly J.E., Greene J.L., Gibson C.A., Smith B.K., Washburn R.A., Sullivan D.K. et al. (2009). Physical Activity Across the Curriculum (PAAC): a randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children. *Preventive Medicine*, 49(4), 336-341. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2009.07.022>
- Donnelly, J.E. & Lambourne, K. (2011). Classroom-based physical activity, cognition, and academic achievement. *Preventive Medicine*, 52, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.01.021>
- Erwin, H.E., Beighle, A., Morgan, C.F. (2011). Effect of a low-cost, teacher-directed classroom intervention on elementary students’ physical activity. *Journal of School Health*, 81(8), 455–461. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2011.00614.x>
- Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Martínez-Gómez, D., Del-Campo, J., González-Galo, A., Padilla-Moledo, C., ...Veiga, O. L. (2014). Independent and combined influence of the components of physical fitness on academic performance in youth. *The Journal of Pediatrics*, 165(2), 306–312.e2. <https://doi.org/10.1016/j.jpeds.2014.04.044>
- Gibson, C.A., Smith, B.K., DuBose, K.D (2008). et al. Physical activity across the curriculum: year one process evaluation results. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5, 36. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-5-36>
- Grieco, L.A., Jowers, E.M., Errisuriz, V.L., & Bartholomew, J.B. (2016). Physically active vs. sedentary academic lessons: A dose response study for elementary student time on task. *Preventive Medicine*, 89, 98-103. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2016.05.021>

- Hillier, A., Murphy, D., & Ferrara, C. (2011). A Pilot Study: Short-term Reduction in Salivary Cortisol Following Low Level Physical Exercise and Relaxation among Adolescents and Young Adults on the Autism Spectrum. *Stress and Health*, 27(5), 395–402. <https://doi.org/10.1002/smi.1391>
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044-1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>
- Howie EK, Newman-Norlund RD, Pate RR (2014). Smiles count but minutes matter: responses to classroom exercise breaks. *American Journal of Health Behavior*, 38(5), 681–689. <https://doi.org/10.5993/AJHB.38.5.5>
- Howie EK, & Pate RR. (2012). Physical activity and academic achievement in children: A historical perspective. *Journal of Sport and Health Science*, 1(3), 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.09.003>
- Huang, T., Tarp, J., Domazet, S. L., Thorsen, A. K., Froberg, K., Andersen, L. B., & Bugge, A. (2015). Associations of Adiposity and Aerobic Fitness with Executive Function and Math Performance in Danish Adolescents. *The Journal of Pediatrics*, 167(4), 810–815.
- Janssen, M., Chinapaw, M. J. M., Rauh, S. P., Toussaint, H. M., Van Mechelen, W., & Verhagen, E. A. L. M. (2014). A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10–11. *Mental health and physical activity*, 7(3), 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2014.07.001>
- Kahn, E. B., Ramsey, L. T., Brownson, R. C., Heath, G. W., Howze, E. H., Powell, K. E... Corso P. (2002). The effectiveness of interventions to increase physical activity. A systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 22, 73-107. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(02\)00434-8](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(02)00434-8)
- Kubesch, S., Walk, L., Spitzer, M., Kammer, T., Lainburg, A., Heim, R., & Hille, K. (2009). A 30-Minute Physical Education Program Improves Students' Executive

- Attention. *Mind, Brain, and Education*, 3(4), 235–242.
<https://doi.org/10.1111/j.1751-228X.2009.01076.x>
- Lervåg, A., & Aukrust, V. G. (2010). Vocabulary knowledge is a critical determinant of the difference in reading comprehension growth between first and second language learners. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(5), 612–620.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02185.x>
- Li, J. W., O'Connor, H., O'Dwyer, N., & Orr, R. (2017). The effect of acute and chronic exercise on cognitive function and academic performance in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 20, 841–848.
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2016.11.025>
- Lin, J., Wang, K., Chen, Z., Fan, X., Shen, L., Wang, Y., . . . Huang, T. (2018). Associations between objectively measured physical activity and executive functioning in young adults. *Perceptual and Motor Skills*, 125(2), 278–288.
<https://doi.org/10.1177/0031512517745438>
- Ma, J.K., Le Mare, L., & Gurd, B.J. (2014). Classroom-based high-intensity interval activity improves off-task behaviour in primary school students. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(12), 1332–1337. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0125>
- Ma, J.K., Le Mare, L., Gurd, B.J. (2015). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9 to 11 year olds. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40(3), 238–244. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0309>
- Masini, A., Marini, S., Gori, D., Leoni, E., Rochira, A., & Dallolio, L. (2019). Evaluation of school-based interventions of active breaks in primary schools: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Science and Medicine in Sport* (in press).
<https://doi.org/10.1016/j.jsams.2019.10.008>
- Mezcua-Hidalgo, A., Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E.J. (2019). 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on

- Adolescent Cognitive Functioning. *Perceptual and Motor Skills*, 126(2), 202-222.
<https://doi.org/10.1177/0031512518825197>
- Mullins, N. M., Michaliszyn, S. F., Kelly-Miller, N., & Groll, L. (2019). Elementary school classroom physical activity breaks: Student, teacher, and facilitator perspectives. *Advances in Physiology Education*, 43(2), 140–148.
<https://doi.org/10.1152/advan.00002.2019>
- Pastor-Vicedo, J., Martínez-Martínez, J., Jaén Tévar, Y., & Prieto-Ayuso, A. (2019). Los descansos activos y la mejora de los aprendizajes en educación infantil: una propuesta de intervención. *SPORT TK-Revista EuroAmericana De Ciencias Del Deporte*, 8(2), 67-72. <https://doi.org/10.6018/spork.401131>
- Ribeiro R. & Alves L. (2014). Comparison of two school-based programmes for health behaviour change: The Belo Horizonte Heart Study randomized trial. *Public Health Nutrition*, 17(6), 1195-1204. <https://doi.org/10.1017/S1368980013000189>
- Román-Viñas, B., Zazo, F., Martínez-Martínez, J., Aznar-Laín, S., & Serra-Majem, L. (2018). Results from Spain's 2018 Report Card on Physical Activity for Children and Youth. *Journal of Physical and Health*, 15(2), S411-S412.
<https://doi.org/10.1123/jpah.2018-0464>
- Ruiz-Ariza, A., Casuso, R. A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Effect of augmented reality game Pokèmon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers & Education*, 116, 49–63.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.002>
- Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., de Loureiro, N. E. M., & Martínez-López, E. J. (2017). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1), 108–133. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184699>
- Ruiz-Ariza, A., Ruiz, J.R., de la Torre-Cruz, M., Latorre-Román, P. & Martínez-López, E.J. (2016). Influencia del nivel de atracción hacia la actividad física en el

- rendimiento académico de los adolescentes. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 48 (1), 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.rlp.2015.09.005>
- Santamaría-Fernández, P., & Fernández-Pinto, I. (2013). Spanish adaptation of RIAS. Reynolds Intellectual Assessment Scales. Madrid, Spain: *TEA Ediciones*.
- Schmidt, M., Benzing, V., & Kamer, M. (2016). Classroom-Based Physical Activity Breaks and Children's Attention: Cognitive Engagement Works! *Frontiers in Psychology*, 7, 1474. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01474>
- Schmidt, M., Jäger, K., Egger F. (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 Exercise Psychology*, 37(6), 575-591. <http://dx.doi.org/10.1123/jsep.2015-0069>.
- Seisdedos, N. (2012). Spanish adaptation D2, attention test Brickenkamp (4th revised edition). Madrid, Spain: *TEA Ediciones*.
- Solís, I. (2019). Experiencia de la implementación del programa “Descansos Activos Mediante ejercicio (DAME 10!)” en Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Española de Salud Pública*. 92. https://www.mscbs.gob.es/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/resp/revista_crom/VOL93/ORIGINALES/RS93C_201911087.pdf
- Suárez-Manzano, S., Ruiz-Ariza, A., De la Torre-Cruz, M. & Martínez-López, E.J. (2018). Acute and chronic effect of physical activity on cognition and behaviour in Young people with ADHD: A systematic review of intervention studies. *Research in Developmental Disabilities*, 77, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.03.015>
- Suárez-Manzano, S., Ruiz-Ariza, A., López-Serrano, S., & Martínez-López, E.J. (2018). Descansos activos para mejorar la atención en clase: intervenciones educativas. *Profesorado. Revista de currículum y formación del profesorado*, 22(4). <https://doi.org/10.30827/profesorado.v22i4.8417>

- Tombaugh, T. N. (1996). Test of memory malingering: TOMM. North Tonawanda, NY: *Multi-Health Systems*.
- Watson, A., Timperio, A., Brown, H., Best, K., & Hesketh, K. D. (2017). Effect of classroom-based physical activity interventions on academic and physical activity outcomes: A systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14, 114. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0569-9>
- Watson, A. J. L., Timperio, A., Brown, H., & Hesketh, K. D. (2019). A pilot primary school active break program (ACTI-BREAK): Effects on academic and physical activity outcomes for students in Years 3 and 4. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(4), 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.09.232>
- Wechsler, D. (1945). A standardized memory scale for clinical use. *The Journal of Psychology*, 19(1), 87–95. <https://doi.org/10.1080/00223980.1945.9917223>
- Whitt-Glover, M. C., Ham, S. A., Yancey, A. K. (2011). Instant Recess(R): a practical tool for increasing physical activity during the school day. *Progress in Community Health Partnerships: Research, Education, and Action*, 5(3), 289–297. [doi: 10.1353 / cpr.2011.0031](https://doi.org/10.1353/cpr.2011.0031).
- Wilson, A. N., Olds, T., Lushington, K., Petkov, J., & Dollman, J. (2016). The impact of 10-minute activity breaks outside the classroom on male students' on-task behaviour and sustained attention: a randomised crossover design. *Acta Paediatrica (Oslo, Norway : 1992)*, 105(4), e181-8. <https://doi.org/10.1111/apa.13323>



**Efecto de los descansos activos entre clases en la
memoria, atención-concentración, cálculo
matemático, razonamiento lingüístico y creatividad
de los adolescentes**

**Mezcua-Hidalgo, A., Ruiz-Ariza, A., De la Torre-Cruz, M.J., &
Martínez-López, E.J. (2020).**

(submitted)

Efecto de los descansos activos entre clases en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad de los adolescentes

Alberto Mezcuca-Hidalgo; Alberto Ruiz-Ariza; Manuel J. De la Torre-Cruz; Emilio J. Martínez-López
Universidad de Jaén

Resumen

El objetivo del presente estudio fue conocer el efecto de un programa de 8 semanas de descansos físicamente activos en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad de estudiantes adolescentes. Participaron 162 adolescentes de Educación Secundaria (12.27 ± 0.47 años). La intervención se basó en cuatro descansos activos diarios de 4 minutos a moderada-alta intensidad controlada con pulsometría. Para analizar el efecto de las 8 semanas de descansos activos se empleó ANCOVA de medidas repetidas 2 Grupo (GC, GE) x 2 Tiempo (pre, post). Se empleó como variables dependientes cada medida cognitiva, como factor fijo el Grupo y como covariables la edad, IMC, horas de estudio diario y MVPA. Los resultados mostraron que el programa de descansos activos provocó mejoras significativas de un 11.7% ($p < 0.001$), un 10.9% ($p = 0.002$) y un 13.13% ($p = 0.015$) en la atención, concentración y cálculo matemático, respectivamente de los participantes. Sin embargo, no se observaron cambios significativos ($p > 0.05$) en la memoria, razonamiento lingüístico y creatividad. No se ha observado efecto negativo en la puntuación de ninguna variable de estudio después de llevar a cabo el programa de intervención. Se sugiere incluir descansos activos entre clases, de 4 minutos de duración, para mejorar la atención-concentración posterior de los estudiantes así como su capacidad de cálculo matemático.

Palabras clave: active breaks, actividad física escolar, cognición, descansos físicamente activos, funciones ejecutivas, rendimiento cognitivo, rendimiento académico

Introducción

La evidencia científica ha demostrado que la práctica sistemática de actividad física (AF) produce multitud de beneficios saludables en los jóvenes, incluyendo mejoras a nivel cognitivo, comportamiento en clase y en el aprendizaje de los adolescentes (Marques et al., 2017; Ruiz-Ariza et al., 2017). Parece que la práctica de AF puede optimizar el proceso de maduración cerebral y contribuye a un mejor desarrollo de las redes neuronales (Khan y Hillman, 2014). Para algunos investigadores existe una relación positiva entre práctica sistemática de AF y el funcionamiento ejecutivo, lenguaje o memoria (Chaddock, Hillman, Buck y Cohen, 2011; Scudder et al., 2014) así como entre la AF y otros aspectos como la atención, concentración o calidad del sueño (Chaddock et al., 2013; Haapala, 2012; López, López y Díaz, 2016; Trudeau y Shephard, 2008). Entre otras razones, esto último ha sido explicado por el aumento del factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) con la práctica física (Cotman, Berchtold & Christie, 2007), el cual ha estado relacionado con mejoras en la función cognitiva en niños (Hotting & Roder, 2013), que puede conducir a un mejor comportamiento hacia el aprendizaje y por tanto a un mayor rendimiento académico (Howie & Pate, 2012). A pesar de estos beneficios, menos del 20% de los niños alcanza a las indicaciones de realizar 60 minutos al día de AF a intensidad moderada-vigorosa (MVPA) y las tasas de cumplimiento descienden con la edad (Watson et al., 2019).

Aunque los Centros educativos son considerados el lugar idóneo para promover la AF, la inclusión de AF dentro del horario escolar durante la Educación Secundaria ha demostrado ser una tarea compleja (Naylor et al., 2015), sobre todo en franjas ocupadas por las demandas curriculares de materias consideradas instrumentales como Lengua o Matemáticas (McMullen, Kulinna & Cothran, 2014). Algunos investigadores han promovido iniciativas basadas en fomentar la práctica de AF durante los intervalos entre clases (Watson et al., 2019). Los descansos activos son pequeñas cuñas de AF a modo de pausas entre clases académicas y que son de gran utilidad para activar cuerpo y mente (Suárez-Manzano, Ruiz-Ariza, López-Serrano y Martínez López, 2018). Estos descansos suelen tener una intensidad de moderada-vigorosa y oscilan entre 2 y 15 minutos (Janssen et al., 2014; Kahn et al., 2002; Ma et al., 2014).

El programa de descansos activos *TAKE10!* (<https://take10.net/>), está basado en pausas de AF de 10 minutos. Algunos estudios muestran que después de llevarlo a cabo aumenta la AF diaria y disminuye el sedentarismo (Ribeiro y Alves, 2014), se reduce el peso corporal (Donnelly et al., 2009) e influye positivamente sobre el rendimiento cognitivo y académico (Donnelly y Lambourne, 2011; Rasberry et al., 2011; Howie y Pate, 2012). Otro programa, el ACTI-BREAK (Watson et al., 2019), mejoró el comportamiento en el aula y la AF escolar medida objetivamente. En España también se están implantando algunos programas de descansos activos con el programa *DAME10*. Solís (2019) analizó este programa y comprobó que la AF de los adolescentes aumentó un 50% durante el horario escolar, el 75,8% se concebían más activos, un 58,5% se sentían más motivados y el 51% mostraba mejor actitud tras las actividades.

Otros estudios han demostrado que los descansos activos mejoran la función cognitiva de los estudiantes (Ma, Le Mare & Gurd, 2015), su comportamiento en el aula (Howie, Beets & Pate, 2015) y el rendimiento académico (Howie, Schatz & Pate, 2015). Aunque muchos investigadores sugieren el empleo de cuñas activas de 10–15 min (Watson et al., 2017), los docentes indican que prefieren pausas activas breves (≤ 5 min) (Howie, Newman-Norlund & Pate, 2014). Si bien se ha demostrado que los descansos activos de al menos 10 minutos son efectivos para mejorar los resultados académicos, pocos estudios han investigado el efecto de los programas de descansos activos más cortos (Ma, Le Mare & Gurd, 2015; Howie, Schatz & Pate, 2015). Además, se ha comprobado que los descansos activos de intensidad moderada-vigorosa de 5 minutos (por ejemplo, marcha, saltar y correr) no bastaron para mejorar los resultados académicos (Howie, Beets & Pate, 2015; Howie, Schatz & Pate, 2015), otros autores sugirieron usar descansos de intensidad vigorosa de 4 minutos (por ejemplo, saltos) para afectar positivamente de forma aguda sobre variables cognitivas como la atención (Ma, Le Mare & Gurd, 2015 y 2014).

Como se ha visto anteriormente, la mayoría de los estudios previos emplean estímulos a corto plazo basados en AF de intensidad moderada-vigorosa pero sin determinar la frecuencia cardíaca de trabajo. Además, pocas intervenciones dentro de esta línea de investigación emplean covariables y los resultados son aún inconcluyentes. Por tanto, el

objetivo del presente estudio fue conocer el efecto de un programa de ejercicio físico de alta intensidad de 8 semanas de duración en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, razonamiento lingüístico y creatividad de estudiantes de Educación Secundaria. Se hipotetizó que aquellos jóvenes que llevan a cabo un programa de descansos activos de alta intensidad obtendrían mayores puntuaciones que los que realizan descansos tradicionales.

Método

Diseño y participantes

La tabla 1 muestra las características antropométricas, sociodemográficas y valores cognitivos iniciales de los participantes. Participaron en el estudio 162 jóvenes de 12.27 ± 0.47 años (rango = 12-13 años), con un IMC = 20.13 ± 3.45 kg/m² y un promedio de ordenadores en casa de 2.38 ± 1.41 (rango = 0-5). Los participantes realizaban un promedio de 3.25 ± 1.36 días/semana de AF de moderada a vigorosa (MVPA) (rango = 0-7). El tiempo promedio de estudio diario de los participantes fue de 91.83 ± 38.27 minutos (rango = 25.71 – 184.29). No se hallaron diferencias significativas entre grupos en ninguna variable dependiente al inicio del estudio (todos $p > 0.05$). Asignamos al azar a los estudiantes en Grupo de control (GC) [$n = 84$] que realizó descansos tradicionales sin estímulo preestablecido pudiendo únicamente permanecer sentados en la clase. Y un grupo experimental (GE) [$n = 78$], que realizó cuatro descansos activos/día de 4 minutos de duración cada uno y a una intensidad de moderada a vigorosa. Cada día, los descansos controlados se establecieron en las 9.00h, 10.00h, 12.30h y 13,30h.

Tabla 1. Características antropométricas, sociodemográficas y cognitivas de los participantes al inicio del estudio. Los valores son presentados como media y desviación estándar o porcentaje.

Variable		Todos (n=162)	Grupo Control (n = 84)	Grupo Experimental (n =78)	P
Edad		12.27 ± 0.47	12.37 ± 0.53	12.15 ± 0.36	0.003
Sexo (%)	Chico	80 (49.4)	38 (47.5)	42 (52.5)	0.274
	Chica	82 (50.6)	46 (56.1)	36 (43.9)	
Peso (kg)		50.81 ± 10.37	50.12 ± 10.02	51.52 ± 10.74	0.396
Altura (m)		1.56 ± 0.07	1.56 ± 0.071	1.55 ± 0.078	0.361
IMC (p/m ²)		20.13 ± 3.45	19.71 ± 3.72	20.59 ± 3.09	0.106

Ordenadores en casa (n)		2.38 ± 1.41	2.12 ± 1.16	2.67 ± 1.60	0.013
Tiempo de estudio diario (minutos)		91.83 ± 38.27	91.40 ± 40.28	92.30 ± 4.39	0.881
MVPA (días/semana)		3.25 ± 1.36	3.22 ± 1.23	3.29 ± 1.49	0.749
Actividad laboral	No trabaja	42 (25.9)	26 (61.9)	16 (38.1)	0.130
	Sí Trabaja	112 (69.1)	54 (48.2)	58 (51.8)	
Memoria		4.98 ± 1.70	5.02 ± 1.76	4.94 ± 1.64	0.744
Atención selectiva		146.19 ± 32.32	146.64 ± 38.08	145.71 ± 24.93	0.854
Concentración		144.67 ± 32.46	145.73 ± 35.33	143.54 ± 29.24	0.670
Cálculo matemático		6.22 ± 2.53	6.02 ± 2.47	6.44 ± 2.59	0.303
Razonamiento lingüístico		21.13 ± 4.11	21.33 ± 4.76	20.91 ± 3.30	0.515
Creatividad		12.54 ± 4.17	12.32 ± 3.50	12.78 ± 4.80	0.485

Antes de la participación voluntaria, los padres o tutores legales de todos los participantes firmaron el consentimiento informado por escrito. Los jóvenes con limitaciones físicas o contraindicaciones médicas para realizar ejercicio físico intenso fueron excluidos. La estructura utilizada para la formación de grupos y las características de intervención se muestran en la Figura 1. Este estudio fue aprobado por el Comité de Bioética de la Universidad de Jaén. El diseño cumple con la normativa española para la investigación clínica en humanos (Ley 14/2007, de 3 de julio, de Investigación Biomédica), con la normativa para la protección de datos privados (Ley Orgánica 15/1999) y con los principios de la Declaración de Helsinki (2013 versión, Brasil).

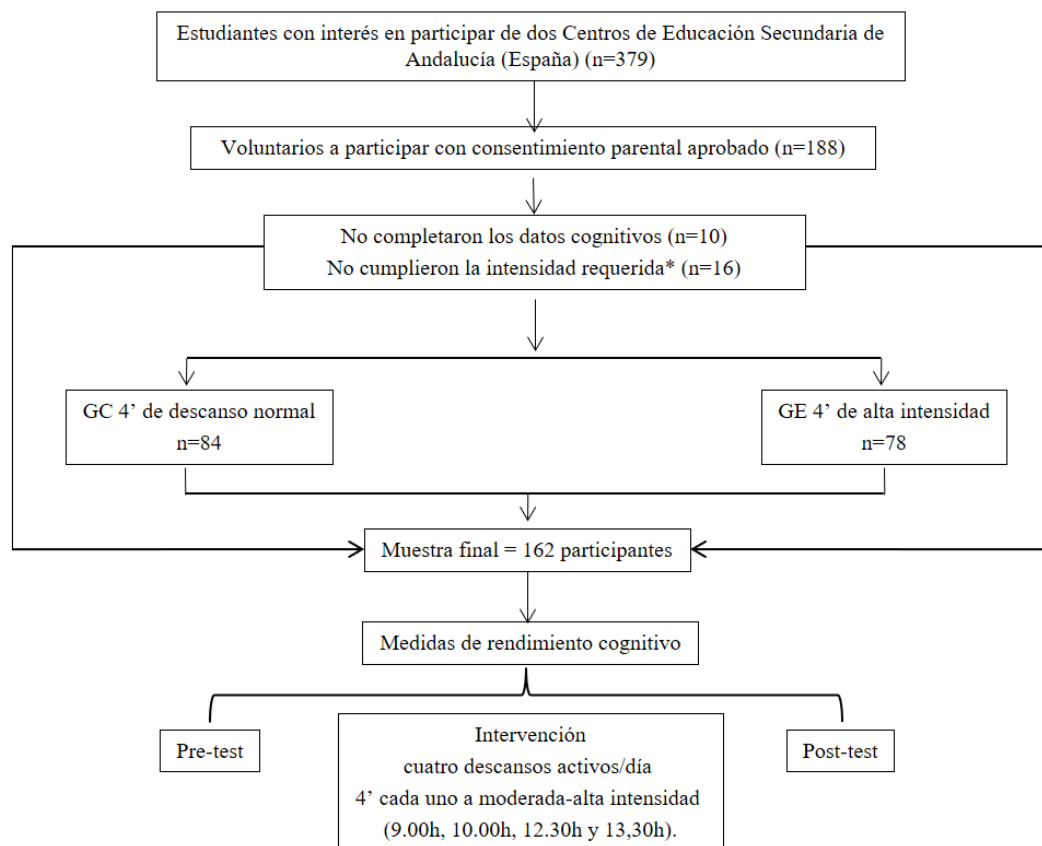


Figura 1. Diagrama de flujo del estudio. GC = Grupo control; GE = Grupo experimental

*Participantes que no cumplieron con la intensidad requerida.

Instrumentos de medida

Memoria

Para evaluar la memoria de los estudiantes se empleó una prueba *ad hoc* de un minuto de duración, basada en las ideas originales de Tombaugh (1996) y Wechsler (1945), así como en la Escala de Evaluación Intelectual de Reynolds (RIAS; Santamaría-Fernández y Fernández-Pinto, 2013). Para la administración de esta prueba, se proyectó un póster con 15 cartas de la baraja española seleccionadas al azar, durante 20 segundos en una pantalla de 3 x 2 metros. Inmediatamente después, los participantes tuvieron 40 segundos para escribir en una hoja de papel estandarizada tantas cartas como pudieron recordar. Se contabilizó el número total de respuestas correctas (rango 0-15) obtenidas por cada participante. Antes de la prueba, se verificó que todos los participantes conocían la estructura y el contenido de las

40 cartas de la baraja española. Esta prueba de memoria se ha utilizado previamente en otras investigaciones con adolescentes (Mezcua-Hidalgo et al., 2019), con una buena fiabilidad test-retest con 21 participantes, tras 48 horas, de 0.919 (Ruiz-Ariza, Casuso, Suárez-Manzano y Martínez-López, 2018).

Atención-concentración

La atención selectiva y la capacidad de concentración se evaluaron con la prueba *d2* de Brickenkamp, en la versión en español (Seisdedos, 2012). Los participantes disponían de un corto tiempo para completar el test (20 segundos para cada fila). Esta prueba evalúa la velocidad de percepción visual y las capacidades de concentración, evaluando la capacidad de un individuo para enfocarse selectiva de manera rápida y precisa en ciertos aspectos relevantes de una tarea, mientras ignora otros aspectos irrelevantes. La administración completa de esta prueba de papel y lápiz es de cuatro minutos y 40 segundos. Calculamos la puntuación de atención selectiva utilizando la siguiente fórmula: [número de elementos procesados - (omisiones + errores)]. Además, calculamos la concentración con: (número de elementos correctos - número de errores). Esta prueba se ha utilizado previamente en otras investigaciones recientes con una fiabilidad test-retest, en 21 participantes 48 horas post, de 0.911 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Cálculo Matemático

Se realizó una adaptación de la escala de cálculo matemático llevada a cabo por Hillman et al. (2009). Con esta prueba se pretendió comprobar la capacidad de procesamiento, velocidad y resolución de operaciones matemáticas. Este test consistía en la presentación de 2 columnas de operaciones matemáticas sencillas basadas en sumas y restas con 6 dígitos. Para realizar la prueba se disponía de un minuto en el cual se debía de resolver el mayor número posible de operaciones. Para evaluar dicha prueba, se cuenta el número de aciertos del total de las operaciones realizadas. Estudios previos muestran una fiabilidad test-retest (48 horas, $n = 21$) de 0.887 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Velocidad de Razonamiento Lingüístico

La velocidad de razonamiento lingüístico se midió mediante un test ad hoc basado en el estudio de Lervåg y Aukrust (2010). El objetivo de esta prueba fue analizar la velocidad lectora y comprensión del alumnado. Ésta prueba consistió en la presentación de 30 filas de 4 palabras cada una establecidas de forma aleatoria. De estas palabras, 3 eran pertenecientes al mismo campo semántico mientras la cuarta palabra no presentaba relación alguna con las otras. Los alumnos que realizaban la prueba debían tachar, durante el periodo de un minuto, el mayor número posible de palabras “intrusas” o que no presentaban relación con las demás. La forma de evaluación del test consistió en la suma de las palabras seleccionadas de forma correcta. Estudios previos muestran una fiabilidad test–retest (48 horas, $n = 21$) de 0.841 (Ruiz-Ariza et al., 2018).

Creatividad

Para evaluar esta variable se utilizó la prueba de inteligencia creativa (CREA) creada por Corbalán-Berná et al. (2010). Esta prueba de pensamiento divergente está dirigida a generar preguntas como indicador de talento creativo, originalidad y efectividad. Estas preguntas se llevan a cabo con un estímulo y un tiempo determinados, donde cada uno de ellos debe respaldarse en un nuevo esquema cognitivo que, a su vez, depende de al menos otros dos. A partir de una imagen, los participantes tienen que elaborar tantas preguntas como sea posible durante 4 minutos. Se asignó un puntaje a cada pregunta (puntuajes posibles: 1 = bajo, 2 = medio, 3 = alto) según su calidad y complejidad. La prueba CREA permite una mejor gestión de los esquemas cognitivos ya que no contempla la pregunta como producto final. La validez predictiva y concurrente de CREA fue alta en comparación con otras baterías creativas como Guilford ($p < .005$).

Intervención de descansos activos

La intervención se basó en cuatro descansos activos de 4’ a moderada-alta intensidad (a las 9.00h, 10.00h, 12.30h y 13,30h), de lunes a viernes, durante 8 semanas. El estímulo se basó en las series de 4’ del programa C-HIIT (Martínez-López et al., 2018; Mezcuá-Hidalgo et al., 2019; Ruiz-Ariza et al., 2019). El control de la intensidad durante el estudio se llevó a cabo de forma centralizada, inalámbrica e individualizada mediante Seego Realtracksystems® [España] (<http://seego.realtracksystems.com/>).

Variables de confusión controladas

Las variables de confusión utilizadas fueron la edad (Esteban-Cornejo et al., 2015), IMC, horas de estudio diario y MVPA. Para registrar los datos de dichas variables los participantes cumplieron un formulario sociodemográfico (Ruiz-Ariza et al., 2016). El IMC fue empleado en otros estudios similares (Bezold et al., 2014). Esta medida fue calculada con el peso y la altura [peso/altura (m²)]. Se usó una báscula ASIMED® B-type-class III (Spain) y un tallímetro SECA 214 (SECA® Ltd, Germany). Ambas medidas fueron tomadas con el participante descalzo y en ropa ligera. Las horas de estudio fueron medidas en minutos/día (AUTORES, AÑO). Finalmente, para conocer el MVPA, se usó el “*Adolescent Physical Activity Measure questionnaire*” (Prochaska, Sallis, & Long, 2001). La consistencia interna de los 2 ítems del MVPA fue alta (Cronbach's alpha = 0.805).

Análisis de datos

La comparación de las variables continuas y categóricas en función de la participación en diferentes descansos activos (GC, GE) se llevó a cabo mediante ANOVA de un factor (Grupo) y Chi² para las variables continuas y categóricas respectivamente. La normalidad y homocedasticidad fue comprobada con la prueba de Kolmogorov-Smirnov y el test de Levene, respectivamente. Para analizar el efecto de las 8 semanas de descansos activos se empleó ANCOVA de medidas repetidas 2 Grupo (GC, GE) x 2 Tiempo (pre, post). Se empleó como variables dependientes cada medida cognitiva, como factor fijo el Grupo y como covariables la edad, IMC, horas de estudio diario y MVPA. El ajuste post hoc se llevó a cabo mediante Bonferroni. El tamaño del efecto fue calculado como η^2 *parcial*. Para cuantificar la magnitud de los efectos entre grupos en cada variable dependiente se empleó la *d* de Cohen. Los valores de Cohen $0 \leq 0.8$ indican tamaño del efecto grande, valores $0.5 < 0.8$ indica tamaño medio y valores $0.2 < 0.5$ indican tamaño pequeño (Cohen, 1998). Los análisis se realizaron por separado para cada variable dependiente. En todas las medidas se utilizó como valor criterial de contraste $p < 0.05$. El porcentaje de cambio entre grupos con diferencias significativas se calculó como sigue: [(medida GE–medida GC) / medida GC] x 100. Los análisis fueron realizados utilizando SPSS v.22.

Resultados

Análisis de la intensidad del programa de descansos activos

El análisis ANOVA de un factor que empleó como variables dependientes la FC mínima, máxima y promedio de ambas y como factor fijo la variable Grupo mostró diferencias estadísticamente significativas en todos los casos (FC mínima: GC = 86.59 ± 16.21 vs. GE = 142.08 ± 36.66 ppm; FC máxima: GC = 116.16 ± 23.42 vs. GE = 148.52 ± 39.28 ppm; FC media: GC = 101.32 ± 20.46 vs. GE = 146.19 ± 37.64 ppm; todos $p < 0.001$, fig. 2). Los valores anteriores muestran el promedio de valores de intensidad en dos sesiones tomadas al azar durante la aplicación del programa.

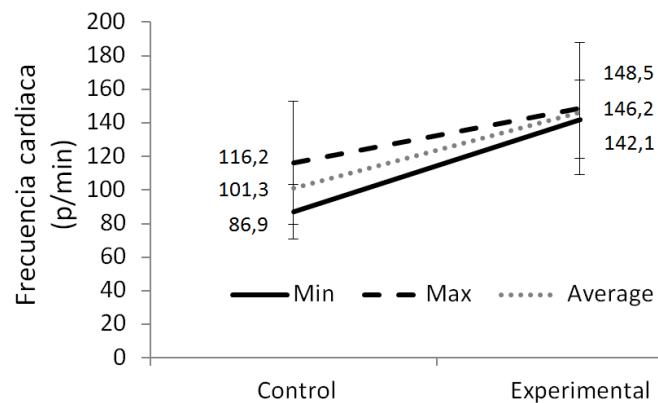


Figura 2. Control de la frecuencia cardíaca. Valores mínimos, máximos y medios de la intensidad de cada grupo obtenidos a partir del promedio de dos sesiones tomadas al azar durante la aplicación del programa.

Análisis ANCOVA del efecto de 8 semanas de descansos activos controlados con pulsometría sobre variables cognitivas

Las figuras 3, 4, 5 y 6 muestran los resultados de análisis ANCOVA en el que se empleó cada medida cognitiva como variable dependiente, el Grupo (GC vs. GE) como factor fijo y la edad, IMC, horas de estudio diario y MVPA como covariables. Después de 8 semanas de descansos activos, los resultados de memoria (fig. 3) no mostraron ningún efecto principal Tiempo ($p = 0.599$), Grupo ($p = 0.732$) ni fue significativa la interacción Tiempo x Grupo ($p = 0.153$).

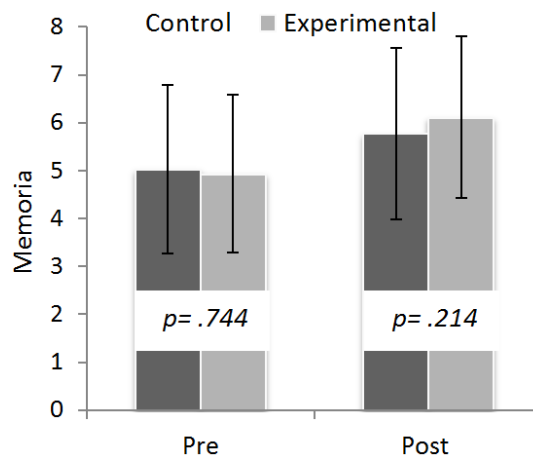


Figura 3. Resultados de memoria en adolescentes después de 8 semanas de descansos activos. n/s denota no diferencias significativas entre grupos en la misma medida.

Los resultados de atención selectiva (fig. 4A) no mostraron efecto principal Tiempo ($p = 0.373$) pero sí fue significativo la interacción Tiempo x Grupo $F(1,156) = 8.477$, $p = 0.004$, $\eta^2_{\text{parcial}} = 0.052$, $1-\beta = 0.825$ y el efecto principal Grupo $F(1,156) = 5.207$; $p = 0.024$; $\eta^2_{\text{parcial}} = 0.032$; $1-\beta = 0.621$. Un análisis más detallado de la interacción, mostró que la atención en la medida post había mejorado significativamente respecto a la medida pre tanto en el GE como en el de GC (ambos $p < 0.001$). Después de 8 semanas de descansos activos, la atención de los participantes del GE había aumentado un 11.7% respecto al GC en la medida post (187.81 ± 39.33 u.a. vs. 168.13 ± 30.78 u.a., $p < 0.001$, d de Cohen = 0.557).

De forma muy similar a la atención, los resultados de concentración (fig. 4B) no mostraron efecto principal Tiempo ($p = 0.764$) pero sí fue significativo la interacción Tiempo x Grupo $F(1,156) = 9.444$, $p = 0.003$, $\eta^2_{\text{parcial}} = 0.057$, $1-\beta = 0.863$ y el efecto principal Grupo $F(1,156) = 4.129$; $p = 0.044$; $\eta^2_{\text{parcial}} = 0.026$; $1-\beta = 0.524$. Un análisis más detallado de la interacción, mostró que la concentración en la medida post había mejorado significativamente respecto a la medida pre tanto en GE como en el GC (ambos $p < 0.01$). El análisis univariante mostró que la concentración de los participantes del GE había aumentado un 10.9% respecto al GC en la medida post (186.21 ± 41.79 u.a. vs. 167.79 ± 30.42 u.a., $p = 0.002$, d de Cohen = 0.503).

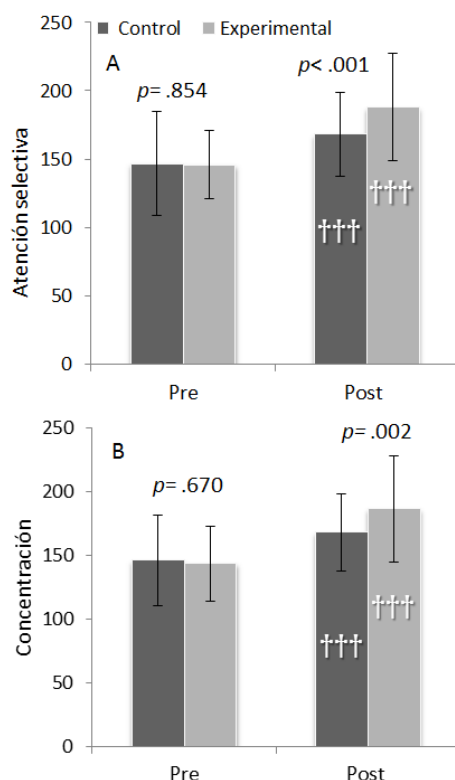


Figura 4. Resultados de atención selectiva y concentración en adolescentes después de 8 semanas de descansos activos. ††† denota $p < 0.001$ comparado con la medida pre en el mismo grupo.

El análisis de resultados de cálculo matemático (fig. 5A) mostró un efecto principal Tiempo $F(1,156) = 3.920$, $p = 0.049$; η^2 parcial = 0.025; $1-\beta = 0.503$ y efecto principal Grupo cercano a la significatividad $F(1,156) = 3.396$, $p = 0.067$, η^2 parcial = 0.021, $1-\beta = 0.499$, pero no la interacción Tiempo x Grupo ($p = 0.172$). El análisis posterior de interés mostró que, después de 8 semanas de descansos activos, los participantes del GE habían mejorado significativamente un 13.13% respecto al GC (8.01 ± 2.65 vs. 7.07 ± 2.15 u.a. respectivamente, $p = 0.015$, d de Cohen = 0.389). En el análisis de datos de capacidad lingüística (fig. 5B) no apareció ningún efecto principal Tiempo y Grupo ($p = 0.833$ y $p = 0.504$ respectivamente) ni de interacción Tiempo x Grupo ($p = 0.195$).

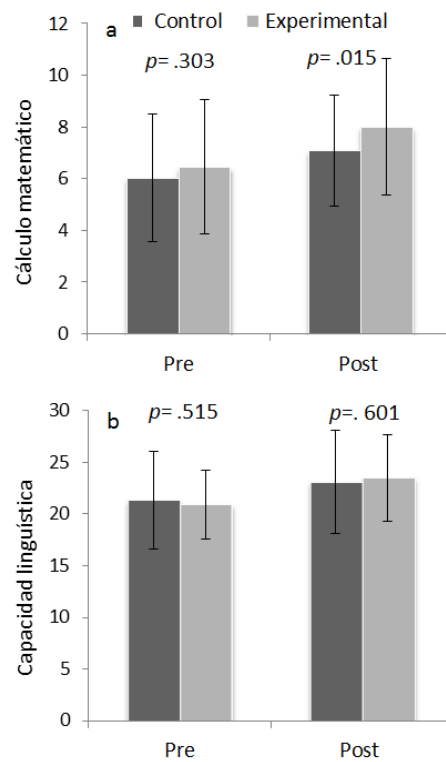


Figura 5. Resultados de cálculo matemático y capacidad lingüística en adolescentes después de 8 semanas de descansos activos.

El análisis de resultados de creatividad (fig. 6) no mostró el efecto principal Tiempo ($p = 0.529$), Grupo ($p = 0.150$), ni la interacción Tiempo x Grupo ($p = 0.781$).

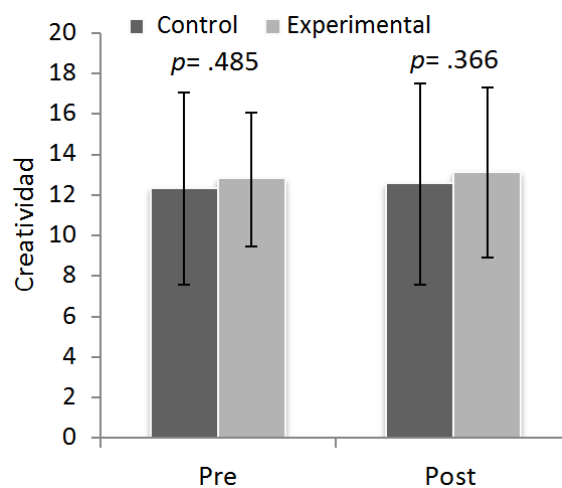


Figura 6. Resultados de creatividad en adolescentes después de 8 semanas de descansos activos.

Discusión

El objetivo del presente estudio fue conocer el efecto crónico de un programa de 8 semanas que aplicaba 4 minutos de AF de alta intensidad, durante los descansos entre clases, en la memoria, atención-concentración, cálculo matemático, el razonamiento lingüístico y creatividad en jóvenes de educación secundaria. Después de 8 semanas, se comprobó que 4 minutos de AF de alta intensidad, llevado a cabo durante cuatro descansos diarios entre clases, provocó mejoras de un 11.7 y un 10.9% en la atención y concentración de los jóvenes participantes. De forma similar, el cálculo matemático mejoró significativamente un 13.13%. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en la memoria, capacidad lingüística ni creatividad. No se ha observado ningún efecto negativo en la puntuación de ninguna variable de estudio después de llevar a cabo el programa de intervención.

Nuestros resultados avalan en parte los resultados mostrados en la reciente revisión sistemática llevada a cabo por Suárez-Manzano, Ruiz-Ariza, López-Serrano y Martínez López (2018). Estos autores mostraron que los 9 estudios que emplearon ejercicio físico a intensidad moderada-vigorosa, de una duración entre 5-30 minutos, en siete estudios obtuvieron mejoras y en dos no obtuvieron cambios. De forma general, se observó la influencia de la duración e intensidad de la intervención pero constatando controversia entre los diferentes estudios. En un estudio similar al aquí presentado, Howie et al. (2014) mostraron interrupciones activas de intensidad moderada a vigorosa de 5 minutos realizadas una vez al día y no obtuvieron ningún efecto. Por el contrario, Ma et al. (2014) informaron que los descansos activos de 4 minutos de duración, de intensidad vigorosa solo produjeron mejoras en la atención. En otro estudio llevado a cabo por Pastor-Vicedo et al. (2019) sobre descansos activos en niños de educación infantil, se muestra como el aumento de AF se relaciona con una mejora del rendimiento cognitivo. Estos resultados, y los del estudio actual, respaldan el beneficio potencial de los descansos activos de corta duración en el aula. Otros estudios han informado mejoras en el rendimiento en matemáticas y lectura (Howie Schatz & Pate, 2015; Erwin, Fedawa & Ahn, 2012). Sin embargo, otros estudios no hallaron mejoras en ambas variables (Watson et al., 2019). Otro estudio encontró que los descansos activos de 5 minutos tampoco fueron suficientes para lograr una

mejora en las puntuaciones de matemáticas, sin embargo, los descansos activos de 10 y 20 minutos sí lograron resultados significativamente más elevados (Howie Schatz & Pate, 2015). Estas diferencias pueden ser debidas a que la intervención no se haya realizado según lo previsto, la intensidad del estímulo no haya sido correctamente controlado y también debido al diferente empleo de covariables en cada estudio.

A pesar de los hallazgos positivos mostrados por los descansos activos, algunos docentes consideran que pueden ser disruptivos y molestos para el resto del Centro, por el ruido que pueda ocasionar los movimientos activos (Watson et al., 2017). No obstante, algunos autores sugieren que los descansos activos pueden ser muy eficientes e incrementar sus efectos en la medida que se empleen diariamente en mayor número posible (Manly et al., 2001). En ese estudio, las puntuaciones de atención selectiva (medidos a través de la subprueba "SkySearch" dentro de la prueba de "atención selectiva en niños"), fueron mejores entre los niños que participaron en dos descansos activos de 20 minutos en comparación con uno de 20 minutos por día (Altenburg, Chinapaw & Singh, 2016). Si bien es posible que este resultado se deba a la mayor dosis de AF en el segundo grupo, se justifica la investigación de descansos activos más cortos y frecuentes dado que tal vez sean más factibles llevarlos a cabo, Al igual que en el presente trabajo, las diferencias de sexo en los resultados de las intervenciones de descansos activos rara vez se informa (Howie, Beets & Pate, 2014; Howie Schatz & Pate, 2015), pero algunos estudios indican diferencias importantes en el comportamiento en la tarea (mejor entre las niñas) después de descansos activos de 5 minutos (Howie, Beets & Pate, 2014), en el rendimiento matemático (mejoras para las niñas pero no para los niños) después de 10 y 20 minutos de descanso activo (Howie Schatz & Pate, 2015).

Con respecto a otros hallazgos, más allá de los cognitivos, rara vez se han empleado medidas objetivas para determinar los efectos de la intervención sobre MVPA (Watson et al., 2017). Los estudiantes que disfrutaban de descansos activos muestran 3.14 min/día más de MVPA que los niños con descansos tradicionales (Carlson et al., 2015). De este modo se destaca el potencial de los descansos activos para contribuir a la AF general. Mullins et al. (2019) han mostrado también que los alumnos participantes en los *Programas de*

Descansos Activos en Clase (CPAB siglas en inglés) manifestaron que les pareció muy divertidos (86%), les proporcionaron un adecuado periodo de descanso durante el día escolar (88%), fueron muy buenos para su salud (94%) y les ayudaron a sentirse más preparados para aprender (71%) y aprender mejor (50%). La totalidad de los profesores informaron que sintieron que sus alumnos realmente disfrutaron de los CPAB, que alentar a los estudiantes a estar físicamente activos era muy importante (83%) y que sentían mucha confianza en que ellos mismos podrían liderar los CPAB (72%). Por otro lado, Aguilar et al. (2018) realizaron un programa de descansos activos llamado “*Móvetel5*”, con alumnos de entre 7-12 años, durante 15 minutos en el intercambio entre las dos primeras horas del horario escolar con una intensidad media-alta. Los resultados mostraron que un 71,1% de los alumnos redujeron su grasa corporal con una disminución del -1,33%. La velocidad-coordinación de los alumnos mejoró en un 69,63% y la resistencia en un 62,22%.

Los hallazgos a largo plazo de los descansos activos mostrados en el presente estudio, pueden ser debidos a varios mecanismos, tanto fisiológicos como socio-conductuales provocados por la intervención de AF. Por ejemplo, la AF ha sido asociada a la mejora de la función cerebral, irrigación sanguínea y oxigenación cerebral, angiogénesis, sinaptogénesis y neurogénesis (Ruiz-Ariza et al., 2017). La práctica de AF incrementa también el factor neurotrófico derivado del cerebro, que ayuda a la supervivencia celular y plasticidad cerebral (Huang et al., 2014). La práctica de ejercicio físico equilibra los niveles de cortisol, luchando contra la ansiedad y estrés (Hillier, Murphy y Ferrara, 2011). Todos estos hechos explicarían el aumento de la atención-concentración y del cálculo matemático.

Limitaciones y fortalezas

Como limitaciones, resulta importante destacar que no se han controlado variables como la condición física de los participantes, que podría influir en los resultados. Como fortalezas, los descansos activos se pueden introducir fácilmente en el contexto escolar de educación secundaria, ya que hasta el momento los descansos entre clases era un tiempo que no disponía de ningún plan para su aprovechamiento. Sin embargo, su efecto depende del rigor y cumplimiento en función de las recomendaciones obtenidos en estudios científicos como el que aquí se presenta. Este trabajo puede ser de utilidad para que los docentes puedan

incorporar intervenciones de AF en el contexto escolar dirigidos a mejorar aspectos cognitivos a largo plazo.

Conclusión

Se concluye que un programa de 8 semanas que emplea 4 descansos activos diarios de alta intensidad, a razón de 4 minutos cada uno, produce mejoras significativas superiores al 10%, tanto en la atención como la concentración posterior de los adolescentes. De forma similar, el cálculo matemático mejora significativamente un 13%. Sin embargo, no se producen cambios en la memoria, capacidad lingüística ni creatividad. La aplicación de un programa continuado de descansos activos diarios no ha mostrado ningún efecto negativo observable en la puntuación de ninguna variable de estudio. Se sugiere incluir descansos activos entre clases, de 4 minutos de duración, para mejorar la atención-concentración posterior de los estudiantes así como su capacidad de cálculo matemático.

Referencias bibliográficas

- Aguilar, M.A., Gil-Madrona, P., Ortega-Dato, J.F., & Rodríguez-Blanco, O.F. (2018). Mejora de la condición física y la salud en estudiantes tras un programa de descansos activos. *Revista Española de Salud Pública*, 92, e201809068.
- Altenburg, T.M., Chinapaw, M.J.M., & Singh, A.S. (2016). Effects of one versus two bouts of moderate intensity physical activity on selective attention during a school morning in Dutch primary schoolchildren: a randomized controlled trial. *Journal of Sciences and Medicine Sport*; 19(10):820–824. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2015.12.003>
- Bezold, C. P., Konty, K. J., Day, S. E., Berger, M., Harr, L., Larkin, M., ... Stark, J. H. (2014). The effects of changes in physical fitness on academic performance among New York City youth. *The Journal of Adolescent Health*, 55(6), 774–81. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2014.06.006>
- Carlson, J.A., Engelberg, J.K., Cain, K.L. et al. (2015). Implementing classroom physical activity breaks: associations with student physical activity and classroom behavior. *Preventive Medicine*, 81, 67–72. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2015.08.006>

- Chaddock, L., Erickson, K. I., Voss, M. W., Knecht, A. M., Pontifex, M. B., Castelli, D. M., Hillman, C. H. & Kramer, A. F. (2013). The effects of physical activity on functional MRI activation associated with cognitive control in children: a randomized controlled intervention. *Frontiers in Human Neuroscience*, 7, 1-13. <http://dx.doi.org/10.3389/fnhum.2013.00072>
- Chaddock, L., Hillman, C. H., Buck, S. M. & Cohen, N. J. (2011). Aerobic fitness and executive control of relational memory in preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 43, 344-349. <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0b013e3181e9af48>
- Corbalán-Berná, J., & Limiñana-Gras, R. M. (2010). El genio en una botella. El test CREA, las preguntas y la creatividad. Introducción al monográfico “El test CREA, inteligencia creativa”. *Anales de psicología*, 26(2), 197-205. <https://revistas.um.es/analesps/article/view/108981>
- Cotman, C.W., Berchtold, N.C., Christie, L.A. (2007). Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends Neurosciences*, 30(9), 464–472. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2007.06.011>
- Donnelly J.E., Greene J.L., Gibson C.A., Smith B.K., Washburn R.A., Sullivan D.K. et al. (2009). Physical Activity Across the Curriculum (PAAC): a randomized controlled trial to promote physical activity and diminish overweight and obesity in elementary school children. *Preventive Medicine*, 49(4), 336-341. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2009.07.022>
- Donnelly, J.E. & Lambourne, K. (2011). Classroom-based physical activity, cognition, and academic achievement. *Preventive Medicine*, 52, 36-42. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.01.021>
- Erwin, H.E., Beighle, A., Morgan, C.F. (2011). Effect of a low-cost, teacher-directed classroom intervention on elementary students’ physical activity. *Journal of School Health*, 81(8), 455–461. <https://doi.org/10.1111/j.1746-1561.2011.00614.x>

- Esteban-Cornejo, I., Tejero-Gonzalez, C. M., Sallis, J. F., & Veiga, O. L. (2015). Physical activity and cognition in adolescents: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport / Sports Medicine Australia*, 18(5), 534–9. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2014.07.007>
- Haapala, E. (2012). Physical activity, academic performance and cognition in children and adolescents. A systematic review. *Baltic journal of health and physical activity*, 4, 53-61. <http://doi.org/10.2478/v10131-012-0007-y>
- Hillier, A., Murphy, D., & Ferrara, C. (2011). A Pilot Study: Short-term Reduction in Salivary Cortisol Following Low Level Physical Exercise and Relaxation among Adolescents and Young Adults on the Autism Spectrum. *Stress and Health*, 27(5), 395–402. <https://doi.org/10.1002/smi.1391>
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159(3), 1044-1054. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2009.01.057>
- Hotting, K., & Roder, B. (2013). Beneficial effects of physical exercise on neuroplasticity and cognition. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 37(9), 2243–2257. <https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2013.04.005>
- Howie, E.K., Beets, M.W., & Pate, R.R. (2014). Acute classroom exercise breaks improve on-task behavior in 4th and 5th grade students: a dose–response. *Mental Health and Physical Activity*, 7(2), 65–71. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2014.05.002>
- Howie, E.K., Newman-Norlund, R.D., & Pate, R.R. (2014). Smiles count but minutes matter: responses to classroom exercise breaks. *American Journal of Health Behavior*, 38(5), 681–689. <https://doi.org/10.5993/AJHB.38.5.5>
- Howie, E.K., & Pate, R.R. (2012). Physical activity and academic achievement in children: A historical perspective. *Journal of Sport and Health Science*, 1(3), 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.jshs.2012.09.003>

- Howie, E.K., Schatz, J., & Pate, R.R. (2015). Acute effects of classroom exercise breaks on executive function and math performance: a dose-response study. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 86 (3), 217–224. <https://doi.org/10.1080/02701367.2015.1039892>
- Janssen, M., Chinapaw, M. J. M., Rauh, S. P., Toussaint, H. M., Van Mechelen, W., & Verhagen, E. A. L. M. (2014). A short physical activity break from cognitive tasks increases selective attention in primary school children aged 10–11. *Mental health and physical activity*, 7(3), 129-134. <https://doi.org/10.1016/j.mhpa.2014.07.001>
- Kahn, E. B., Ramsey, L. T., Brownson, R. C., Heath, G. W., Howze, E. H., Powell, K. E... Corso P. (2002). The effectiveness of interventions to increase physical activity. A systematic review. *American Journal of Preventive Medicine*, 22, 73-107. [https://doi.org/10.1016/S0749-3797\(02\)00434-8](https://doi.org/10.1016/S0749-3797(02)00434-8)
- Khan, N. & Hillman, C. H. (2014). The Relation of Childhood Physical Activity and Aerobic Fitness to Brain Function and Cognition: A Review. *Pediatric Exercise Science*, 26, 138-146. <http://dx.doi.org/10.1123/pes.2013-0125>
- Lervåg, A., & Aukrust, V. G. (2010). Vocabulary knowledge is a critical determinant of the difference in reading comprehension growth between first and second language learners. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 51(5), 612–620. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7610.2009.02185.x>
- López, G.F., López, L., & Díaz, A. (2016). Efectos de un programa de Actividad Física en la calidad del sueño de escolares con TDAH. *Revista Euroamericana de Ciencias del Deporte*, 1(5), 19-26. <https://doi.org/10.6018/249071>
- Ma, J.K., Le Mare, L., & Gurd, B.J. (2014). Classroom-based high-intensity interval activity improves off-task behaviour in primary school students. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(12), 1332–1337. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0125>

- Ma, J.K., Le Mare, L., & Gurd, B.J. (2015). Four minutes of in-class high-intensity interval activity improves selective attention in 9 to 11 year olds. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 40 (3), 238–244. <https://doi.org/10.1139/apnm-2014-0309>
- Manly, T., Anderson, V., Nimmo-Smith, I. (2001). The differential assessment of children's attention: the Test of Every day Attention for Children (TEA-Ch), normative sample and ADHD performance. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, 42(8), 1065–1081. <https://doi.org/10.1017/S0021963001007909>
- Marques A, Santos DA, Hillman CH et al. (2017).How does academic achievement relate to cardiorespiratory fitness, self-reported physical activity and objectively reported physical activity: a systematic review in children and adolescents aged6–18 years. *British Journal of Sports Medicine*, 52(16). <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2016-097361>
- Martínez-López, E.J., De la Torre-Cruz, M.J., Suárez-Manzano, S., & Ruiz-Ariza, A. (2018). 24 sessions of monitored cooperative high-intensity interval training improves attention-concentration and mathematical calculation in secondary school. *Journal of Physical Education and Sport*, 18(3), 1572-1582. <https://doi.org/10.7752/jpes.2018.03232>
- McMullen, J., Kulinna, P., & Cothran, D. (2014). Physical activity opportunities during the school day: classroom teachers' perceptions of using activity breaks in the classroom. *Journal of Teaching in Physical Education*, 33(4), 511–527. <https://doi.org/10.1123/jtpe.2014-0062>
- Mezcua-Hidalgo, A., Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E.J. (2019). 48-Hour Effects of Monitored Cooperative High-Intensity Interval Training on Adolescent Cognitive Functioning. *Perceptual and Motor Skills*, 126(2), 202-222. <https://doi.org/10.1177/0031512518825197>
- Mullins, N. M., Michaliszyn, S. F., Kelly-Miller, N., & Groll, L. (2019). Elementary school classroom physical activity breaks: Student, teacher, and facilitator perspectives.

- Advances in Physiology Education*, 43(2), 140–148.
<https://doi.org/10.1152/advan.00002.2019>
- Naylor, P.J., Nettlefold, L., Race, D. et al. (2015). Implementation of school based physical activity interventions: a systematic review. *Preventive Medicine*, 72, 95–115.
<https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2014.12.034>
- Pastor-Vicedo, J., Martínez-Martínez, J., Jaén Tévar, Y., & Prieto-Ayuso, A. (2019). Los descansos activos y la mejora de los aprendizajes en educación infantil: una propuesta de intervención. *SPORT TK-Revista EuroAmericana De Ciencias Del Deporte*, 8(2), 67-72. <https://doi.org/10.6018/sportk.401131>
- Prochaska, J. J., Sallis, J. F., & Long, B. (2001). A physical activity screening measure for use with adolescents in primary care. *Archives of Pediatrics & Adolescent Medicine*, 155(5), 554–9. <https://doi.org/10.1001/archpedi.155.5.554>
- Rasberry, C. A., Lee, S. M., Robin, L., Laris, B. A., Russell, L. A., Coyle, K. K., & Nihiser, A. J. (2011). The association between school-based physical activity, including physical education, and academic performance: A systematic review of the literature. *Preventive Medicine*, 52, s10-s20. <https://doi.org/10.1016/j.ypmed.2011.01.027>
- Ribeiro R. & Alves L. (2014). Comparison of two school-based programmes for health behaviour change: The Belo Horizonte Heart Study randomized trial. *Public Health Nutrition*, 17(6), 1195-1204. <https://doi.org/10.1017/S1368980013000189>
- Ruiz-Ariza, A., Casuso, R. A., Suárez-Manzano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Effect of augmented reality game Pokèmon GO on cognitive performance and emotional intelligence in adolescent young. *Computers & Education*, 116, 49–63.
<https://doi.org/10.1016/j.compedu.2017.09.002>
- Ruiz-Ariza, A., Grao-Cruces, A., de Loureiro, N. E. M., & Martínez-López, E. J. (2017). Influence of physical fitness on cognitive and academic performance in adolescents: A systematic review from 2005–2015. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 10(1), 108–133. <https://doi.org/10.1080/1750984X.2016.1184699>

- Ruiz-Ariza, A., Suárez-Manzano, S., López-Serrano, S., & Martínez-López, E.J. (2019). The effect of cooperative high-intensity interval training on creativity and emotional intelligence in secondary school: A randomised controlled trial. *European Physical Education Review*, 25, 355-373. <https://doi.org/10.1177/1356336X17739271>
- Ruiz-Ariza, A., Ruiz, J.R., De la Torre-Cruz, M., Latorre-Román, P. & Martínez-López, E.J. (2016). Influencia del nivel de atracción hacia la actividad física en el rendimiento académico de los adolescentes. *Revista Latinoamericana de Psicología*, 48(1), 42-50. <https://doi.org/10.1016/j.rlp.2015.09.005>
- Santamaría-Fernández, P., & Fernández-Pinto, I. (2013). Spanish adaptation of RIAS. Reynolds Intellectual Assessment Scales. Madrid, Spain: *TEA Ediciones*.
- Scudder, M. R., Federmeier, K. D., Raine, L. B., Direito, A. & Boyd, J. K. (2014). The association between aerobic fitness and language processing in children: Implications for academic achievement. *Brain and Cognition*, 87, 140-152. <http://dx.doi.org/10.1016/j.bandc.2014.03.016>
- Seisdedos, N. (2012). Spanish adaptation D2, attention test Brickenkamp (4th revised edition). Madrid, Spain: *TEA Ediciones*.
- Solís Antúnez I. (2019). Experiencia de la implementación del programa “Descansos Activos Mediante ejercicio (DAME 10!)” en Educación Secundaria Obligatoria. *Revista Española de Salud Pública*. 92. https://www.mscbs.gob.es/biblioPublic/publicaciones/recursos_propios/resp/revista_crom/VOL93/ORIGINALES/RS93C_201911087.pdf
- Suárez-Manzano, S., Ruiz-Ariza, A., De la Torre-Cruz, M. & Martínez-López, E.J. (2018). Acute and chronic effect of physical activity on cognition and behaviour in Young people with ADHD: A systematic review of intervention studies. *Research in Developmental Disabilities*, 77, 12-23. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2018.03.015>
- Tombaugh, T. N. (1996). Test of memory malingering: TOMM. North Tonawanda, NY: *Multi-Health Systems*.

- Trudeau, F. & Shephard, R. J. (2008). Physical education, school physical activity, school sports and academic performance. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 5, 10. <http://dx.doi.org/10.1186/1479-5868-5-10>
- Watson, A. J. L., Timperio, A., Brown, H., & Hesketh, K. D. (2019). A pilot primary school active break program (ACTI-BREAK): Effects on academic and physical activity outcomes for students in Years 3 and 4. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(4), 438–443. <https://doi.org/10.1016/j.jsams.2018.09.232>
- Watson, A., Timperio, A., Brown, H., et al. (2017). Effect of classroom-based physical activity interventions on academic and physical activity outcomes: a systematic review and meta-analysis. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 14(1), 114. <https://doi.org/10.1186/s12966-017-0569-9>
- Watson A, Timperio A, Brown, H., et al. (2017). A primary school active break programme (ACTI-BREAK): study protocol for a pilot cluster randomised controlled trial. *Trials*, 18(1), 433. <https://doi.org/10.1186/s13063-017-2163-5>
- Wechsler, D. (1945). A standardized memory scale for clinical use. *The Journal of Psychology*, 19(1), 87–95. <https://doi.org/10.1080/00223980.1945.9917223>

LIMITACIONES Y FORTALEZAS

Limitaciones

- Los trabajos transversales no detectan relaciones de causalidad y las muestras por conveniencia pueden limitar la generalización de los resultados obtenidos.
- Se podían haber controlado más covariables de carácter socioeconómico o familiar para disminuir el riesgo de sesgo en los análisis.
- Existe la posibilidad de que los encuestados, con motivo de preservar un concepto positivo de sí mismos, no respondan con toda sinceridad o ajusten sus respuestas. También puede ocurrir que los adolescentes contesten a las preguntas de los test y cuestionarios de forma errónea, ya sea deliberadamente o sin mala intención. Por tanto, hay que tener en cuenta que las respuestas obtenidas por los participantes, pueden no ser totalmente representativas de todos aquellos que no participasen. Es por ello, que hay que ser cautos a la hora de generalizar los resultados.
- Con respecto a la revisión sistemática, un análisis más exhaustivo a través de metanálisis, podría haber cuantificado de una forma exacta nuestros hallazgos.
- En la revisión, podríamos haber usado un mayor número de bases de datos especializadas como por ejemplo Web Of Science, ERIC o EMBASE.
- El trabajo experimental en contexto educativo real conlleva dificultades del día a día. Por ejemplo, el horario de las intervenciones no ha sido fácil de encajar dentro del horario de los Centros, para ello se han tenido que solicitar diversos permisos y autorizaciones que han hecho que de la toma de datos sea más compleja.
- Aunque las pruebas se adaptaron para disminuir el efecto de memorización de las respuestas correctas, nuestros resultados han demostrado que tanto los participantes del GC como los del GE pueden haber interiorizado y aprendido los mecanismos de respuesta, obteniéndose en algunas ocasiones mejores resultados en ambos grupos.
- Al realizar el estímulo C-HIIT al inicio de la jornada escolar, se apreció dificultad en algunos participantes para completar los 16 minutos a la intensidad estipulada. Sin embargo, se intentó dar rigor con el uso de los monitores de frecuencia cardíaca individuales e inalámbricos centralizados en el ordenador de los investigadores.

- Al igual que la anterior limitación, durante el programa de descansos activos hubo momentos en los que la intensidad no se cumplió al 100%, a pesar de usar la pulsometría inalámbrica en cada uno de los participantes.
- Existe aún poca investigación acerca de los efectos de este tipo de programas escolares basados en AF sobre el rendimiento cognitivo en jóvenes, por lo que se dificulta la discusión y comparación de nuestros hallazgos con otros estudios similares.
- No llevamos a cabo un estudio de seguimiento a largo plazo “*long-term follow-up*” (por ejemplo de 3-6 meses) ni en el estudio C-HIIT al inicio de la jornada escolar, ni en el de descansos activos.

Fortalezas

- Se han usado muestras amplias de adolescentes en los diferentes estudios, abarcando una etapa tan importante como la Educación Secundaria.
- El diseño experimental aleatorizado en el contexto escolar y la amplia muestra experimental y de control son puntos fuertes a tener en cuenta.
- Para evaluar la condición física, se han empleado medidas objetivas y validadas, mediante una batería completa y estandarizada como la ALPHA-fitness.
- Como test cognitivos se han usado instrumentos fiables y validados. Así como análisis estadísticos adecuados para los objetivos planteados en los diferentes trabajos.
- La inclusión de covariables en los análisis de los estudios llevados a cabo también es un punto a favor de esta Tesis Doctoral, ya que ofrece resultados más fiables debido a que elimina posibles influencias que podrían confundir los resultados y su interpretación.
- Se ha considerado que los posibles errores en las respuestas a los cuestionarios han sido reducidos notablemente por el hecho de que se ha utilizado la codificación para asegurar el anonimato y confidencialidad de los participantes.
- El novedoso uso del método C-HIIT durante los primeros minutos de la jornada escolar y la exploración de sus efectos en el rendimiento cognitivo, se considera como un punto a favor importante de esta tesis, que podría potenciar además el rendimiento académico general de los escolares.
- Del mismo modo que la indicación anterior, los descansos activos pueden ser estrategias para favorecer el rendimiento escolar, tanto a corto como a largo plazo.

LIMITATIONS AND STRENGTHS

Limitations

- Cross-sectional studies do not detect causal relationships, and samples for convenience can limit the generalization of the results obtained.
- More socioeconomic or family covariates could have been controlled to reduce the risk of bias in the analyzes.
- There is a possibility that participants, in order to preserve a positive concept of themselves, do not respond with all sincerity or adjust their responses. It can also happen that adolescents answer test questions and questionnaires in a wrong way, either deliberately or without malicious intent. Therefore, it should be borne in mind that the answers obtained by the participants may not be fully representative of all those who did not participate. Therefore, we must be cautious when generalizing the results.
- Regarding the systematic review, a more depth analysis through meta-analysis could have quantified our findings in an exact way.
- In the review, we could have used a larger number of specialized databases such as Web Of Science, ERIC or EMBASE.
- Experimental work in real educational context entails day-to-day difficulties. For example, the schedule of the interventions has not been easy to fit into the hours of the Centers, for this they have had to request various permits and authorizations that have made data collection more complex.
- Although the tests were adapted to reduce the effect of memorizing the correct answers, our results have shown that both the participants of the CG and those of the EG may have internalized and learned the response mechanisms, sometimes obtaining better results in both groups .
- When carrying out the C-HIIT stimulus at the beginning of the school day, some participants felt difficulty completing the 16 minutes at the stipulated intensity. However, it was tried to give rigor with the use of the individualized and wireless heart rate monitors centralized in the researchers' computer.
- As the previous limitation, during the active break program there were times when the intensity was not 100% fulfilled, despite using the wireless heart rate monitor in each of the participants.

- There is still little research about the effects of this type of PA-based school programs on cognitive performance in young people, making difficult the discussion and comparison of our findings with other similar studies.
- We do not carry out a long-term follow-up study (for example, 3-6 months) in the C-HIIT study at the beginning of the school day, nor in the active break program.

Strengths

- Wide samples of adolescents have been used in the different studies, covering such an important stage as Secondary Education.
- The randomized experimental design in the school context, and the extensive experimental and control sample are strong points to consider.
- To assess the physical fitness, objective and validated measures have been used, using a complete and standardized battery such as ALPHA-fitness.
- Reliable and validated instruments have been used as cognitive tests. As well as adequate statistical analysis for the objectives set out in the different studies.
- The inclusion of covariates in the analysis of the studies carried out is also a point in favor of this Doctoral Thesis, since it offers more reliable results because it eliminates possible influences that could confuse the results and their interpretation.
- It has been considered that the possible mistakes in the answers to the questionnaires have been significantly reduced due to the fact that coding has been used to ensure the anonymity and confidentiality of the participants.
- The novel use of the C-HIIT method during the first minutes of the school day, and the exploration of its effects on cognitive performance, is considered as an important point in favor of this thesis, which could also enhance the overall academic performance in the students.
- In the same way as the previous indication, active breaks can be strategies to promote school performance, both with short and long term effects

CONCLUSIONES

- Una alta resistencia cardiorrespiratoria se asocia con una mayor memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad en los adolescentes, independientemente de la edad, sexo e IMC.
- La revisión sistemática muestra 7 estudios que engloban los efectos de utilizar HIIT o C-HIIT sobre variables cognitivas en jóvenes. Los resultados obtenidos muestran en general un efecto positivo. Estos hallazgos son de gran utilidad para incentivar a la inclusión de programas activos con estas características del HIIT o C-HIIT en contexto escolar.
- Se concluye que 16 minutos de C-HIIT al comienzo de la jornada escolar, mejora la atención selectiva durante la siguiente hora y la concentración durante las próximas dos horas en adolescentes, sin embargo, la capacidad de memoria no se ve afectada.
- Un descanso activo de baja intensidad presenta un efecto de mejora mayor que el de alta intensidad, aunque ambos pueden afectar positivamente a la memoria y atención inmediata tras el estímulo. Se observan mejoras en el cálculo matemático tras descansos activos, tanto de baja como alta intensidad, sin embargo, las diferencias no han llegado a ser significativas. No se obtienen mejoras en la capacidad lingüística ni en la creatividad.
- Un programa de 8 semanas, de 4 descansos activos/día de 4 minutos de AF intervállica de alta intensidad, mejora un 11.7 y un 10.9% la atención y concentración de los jóvenes. De forma similar, el cálculo matemático mejoró significativamente un 13.13%. Sin embargo, no se observaron cambios significativos en la memoria, capacidad lingüística ni creatividad.

Conclusión General

Se concluye que una alta resistencia cardiorrespiratoria se asocia con una mayor memoria, cálculo matemático, velocidad de razonamiento lingüístico y creatividad en adolescentes. Programas HIIT o C-HIIT afectan positivamente en variables cognitivas en jóvenes. En este sentido, realizar 16 minutos de C-HIIT, al comienzo de la jornada escolar, mejora la atención y la concentración durante las 2 horas siguientes. Colocar estímulos de descansos activos entre asignaturas, puede tener un efecto inmediato en la memoria, atención y cálculo matemático. Además, programas de 8 semanas de descansos activos de 4 minutos de duración a intensidad moderada-vigorosa, durante todos los descansos entre clases, mejora la atención, concentración y el cálculo matemático de los jóvenes.

CONCLUSIONS

- High cardiorespiratory fitness is associated with greater memory, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in adolescents, regardless of age, sex and BMI.
- The systematic review shows 7 studies that encompass the effects of using HIIT or C-HIIT on cognitive variables in young people. The results obtained generally show a positive effect. These findings are very useful to encourage the inclusion of active programs with these characteristics of HIIT or C-HIIT in school context.
- It is concluded that 16 minutes of C-HIIT at the beginning of the school day improves selective attention during the next hour and concentration during the next two hours in adolescents, however, memory is not affected.
- An active break of low intensity has a greater effect of improvement than the active break at high intensity, although both can positively affect memory and attention after the stimulus. There are improvements in the mathematical calculation after active breaks, both low and high intensity, however, the differences have not become significant. There are no improvements in linguistic ability or creativity.
- A program of 8 weeks, of 4 active breaks/day of 4 minutes of high intensity interval physical activity, improves the attention and concentration of young people by 11.7 and 10.9%. Similarly, the mathematical calculation significantly improved 13.13%. However, there were no significant changes in memory, language ability or creativity.

General conclusion

It is concluded that high cardiorespiratory resistance is associated with greater memory, mathematical calculation, linguistic reasoning and creativity in adolescents. HIIT or C-HIIT programs positively affect cognitive variables in young people. In this sense, performing 16 minutes of C-HIIT at the beginning of the school day, improves attention and concentration during the next 2 hours. Placing stimuli of active breaks between subjects can have an immediate effect on memory, attention and mathematical calculation. In addition, programs of 8 weeks of active breaks of 4 minutes of duration at moderate-vigorous intensity, during all the breaks between classes, improve the attention, concentration and the mathematical calculation of the young people.

APLICACIONES PRÁCTICAS Y PROSPECTIVAS FUTURAS DE ESTUDIO

Aplicaciones Prácticas

- Conocer y fomentar la condición física cardiorrespiratoria, ya que es la que en mayor medida se asocia con las variables cognitivas analizadas. Sería interesante proponer programas específicos en las clases de EF para mejorar este componente de condición física.
- Se propone el HIIT y el C-HIIT como herramienta para trabajar en las clases de EF. Las características de este método hacen que se pueda incluir en las clases sin impedir el desarrollo normalizado de las Unidades Didácticas.
- Se recomienda comenzar la jornada escolar con un estímulo de C-HIIT para provocar un aumento de la atención y concentración en las siguientes horas.
- Se sugiere incluir descansos activos entre clases, de 4 minutos de duración ya que pueden mejorar, de forma inmediata y a largo plazo, aspectos cognitivos como la memoria, atención-concentración y el cálculo matemático.

Prospectivas Futuras

- Continuar realizando estudios e investigaciones para analizar las relaciones de la condición física con otras variables cognitivas y de inteligencia, incluyendo el análisis de distintas covariables.
- Aplicar programas de intervención híbridos, que fomenten la actividad física de moderada a vigorosa en diferentes momentos de la jornada escolar, para potenciar al máximo los efectos cognitivos de la AF.
- Utilizar el programa C-HIIT a primera hora de la mañana durante periodos más prolongados de tiempo. Sería conveniente también analizar sus posibles efectos en una cantidad más amplia de variables desde un punto de vista integral (físicas, cognitivas, psicológicas y sociales).

PRACTICAL APPLICATIONS AND PROSPECTS FOR FUTURE RESEARCH

Practical Applications

- To know and promote the cardiorespiratory fitness, because it is most associated with the analyzed cognitive variables. It would be interesting to propose specific programs in PE classes to improve this fitness component.
- The HIIT and C-HIIT are proposed as a tool to work in PE classes. The characteristics of this method, makes it possible to include in the classes without impeding the normalized development of the Teaching Units.
- It is recommended to start the school day with a C-HIIT stimulus, to cause an increase in attention and concentration in the following hours.
- It is suggested to include active breaks between classes, of about 4', since they can improve immediately and in the long term, aspects such as memory, attention-concentration or mathematical calculation.

Future Prospectives

- To perform new studies and to encourage the relationships of the physical fitness with other cognitive variables and intelligence, including the analysis of different covariates.
- To apply hybrid intervention programs, which promote moderate to vigorous physical activity at different times of the school day, to maximize the cognitive effects of PA.
- To use the C-HIIT program first thing in the morning, but for a longer period of time, and analyze its possible effects in a wider number of variables, from an integral point of view (physical, cognitive, psychological and social way).

CURRICULUM VITAE RESUMIDO [SHORT CV]

Datos Personales

- Apellidos y nombre: Mezcua Hidalgo, Alberto
- E-mail: alberto.mezcuahidalgo@gmail.com
- Grupo de Investigación HUM-943: Actividad Física Aplicada a la Educación y la Salud – AFAES -. Web: <https://grupoafaes.wixsite.com/afaes>
- Profesor de Educación Física de ESO y Bachillerato, en la Junta de Andalucía.

Actividad Académica

- Grado en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte (2008-2012). Universidad de Castilla-La Mancha (Toledo, España).
- Máster Experto Universitario Director Deportivo (2011-2012). Universidad de Oviedo en colaboración con la Universidad de Castilla-La Mancha y La Liga Nacional de Fútbol Profesional (Madrid, España).
- Máster Oficial en Profesorado de ESO y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas. Especialidad: Educación Física (2012-2013).
- Máster Oficial en Investigación y Docencia en Ciencias de la Actividad Física y la Salud. Especialidad en Educación Física (2018-2019). Universidad de Jaén (Jaén, España).

Participación en Proyectos de Investigación

- Influencia de las relaciones parentales sobre la actividad física, obesidad juvenil, calidad de vida, y rendimiento académico en adolescentes de Andalucía. Ref.: 2014/CL081 2014/00274 (2014-2015).

Aportaciones a Congresos

- **Mezcua-Hidalgo, A.**, Manzano-Carrasco, S., Martínez-López, E. J. & López-Serrano, S. (2018). Trabajo colaborativo en clases de educación física y sus beneficios cognitivos y sociales. *Innovagogía 2018 – IV Congreso Virtual Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa*, 20-22 marzo de 2018 (Sevilla, España).
- Manzano-Carrasco, S., **Mezcua-Hidalgo, A.**, López-Serrano, S., & Martínez-López, E. J. (2018). Estudio piloto para la mejora de la memoria y el cálculo matemático a través de la

actividad física enriquecida. *Innovagogía 2018 – IV Congreso Virtual Internacional sobre Innovación Pedagógica y Praxis Educativa*, 20-22 marzo de 2018 (Sevilla, España).

- **Mezcua-Hidalgo, A.**, Ruiz-Ariza, A., Casuso-Pérez, R. A., & Martínez-López, E. J. (2018). ¿Podría un programa interválico de alta intensidad producir mejoras inmediatas en las funciones ejecutivas? Un estudio agudo mediante actividades cooperativas. *7th International Congress of Physical Activity and Sport*, 26 mayo de 2018 (Beja, Portugal).
- **Mezcua-Hidalgo, A.** (2018). A pilot study to improve linguistic reasoning and memory through enriched physical activity. *7th International Congress of Physical Activity and Sport*, 26 mayo de 2018 (Beja, Portugal).
- **Mezcua-Hidalgo, A.** & López-Serrano, S. (2018). Creation of an Educational Escape Room for the development of curricular contents in Physical Education. *7th International Congress of Physical Activity and Sport*, 26 mayo de 2018 (Beja, Portugal).
- **Mezcua-Hidalgo, A.**, García-Molina, Á., Añón-Gómez, A., & Rus-Pérez, F. (2018). C-HIIT program. How to apply it in Physical Education classes? *7th International Congress of Physical Activity and Sport*, 26 mayo de 2018 (Beja, Portugal).
- **Mezcua-Hidalgo, A.**, Ruiz-Ariza, A., Ferreira Brandão De Loureiro, V. A. & Martínez-López, E. J. (2018). Capacidades físicas y su relación con la memoria, cálculo, razonamiento lingüístico y creatividad. Un estudio en clase de Educación Física. *I Congreso Internacional sobre Metodologías Activas, Modelos de Enseñanza-Aprendizaje e Investigación en Ciencias de la Educación y del Deporte*, 29-30 noviembre de 2018 (Granada, España).

AGRADECIMIENTOS [ACKNOWLEDGEMENTS]

Hay un proverbio chino que reza “*cuando comas brotes de bambú, recuerda al hombre que los plantó*”. Es obvio que este trabajo es fruto de mucho esfuerzo, dedicación y sacrificio, pero en el proceso y durante el camino hasta llegar aquí, hay muchos factores y sobre todo personas que han hecho posible que haya podido realizar esta Tesis Doctoral y es a ellas a quienes quiero dedicar estas últimas líneas.

Está claro que si hoy en día estoy en la situación que disfruto es gracias al apoyo, esfuerzo y sacrificio que han hecho durante toda su vida mis padres, **Ildefonso y Ana** para que yo pudiese perseguir todas las metas que me he propuesto siempre. Todo lo que han hecho en su vida ha ido enfocado a que mi hermana y yo alcanzásemos las cotas más altas a las que podíamos aspirar transmitiéndonos grandes valores, sensatez, humildad y por supuesto un amor incondicional. Sois mi ejemplo a seguir y el orgullo que sé que sentiréis hoy por mí, por estar defendiendo una tesis doctoral, no se puede comparar con el que yo siento por teneros en mi vida como padres. Me faltan las palabras para agradecerlos tanto, GRACIAS.

A **Raquel**, mi hermana y compañera de grandes ratos. Cuando hay que desconectar está siempre ahí dispuesta a lo que se proponga. Una persona tan fascinante y con tantas capacidades que admiro, con mil metas en el aire y ninguna concreta, pero fiel a sus ideas. Conforme pasan los años eres un apoyo mayor e imprescindible, mi NAVI personal a la que siempre hay que escuchar porque siempre es interesante lo que dice. Aunque no nos lo digamos mucho, estoy muy orgulloso de ti y solo espero que consigas alcanzar los sueños que anheles porque lo mereces todo mi joven padawan.

Quiero hacer mención también a mi **familia**. Importantes todos y cada uno. Más afín con unos y otros en función de cada momento de mi vida, pero sin duda, todos importantes y que forman grandes recuerdos que guardo con gran tesón. Soy muy afortunado de teneros a todos y todas.

Por supuesto a **Alba**. Pareja, amiga y compañera. Eres mi gran apoyo y pieza fundamental en mi vida. Has estado prácticamente en todos los desafíos que me voy planteando desde que recuerdo y estoy seguro que también en todos los que están por venir. Nos ha tocado luchar más de lo que podíamos imaginar y, aun así, nos queda un gran recorrido por hacer. Que

suerte la mía de poderlo hacer contigo, te quiero muchísimo.

La vida es mejor con amigos y yo le debo mucho a los míos. Gracias a mis **“Gaylords”**, **Mateo, Dani y Baltas**, esos amigos que aunque pasen meses sin vernos tienen la capacidad de en una quedada hacerte sentir como si el tiempo no pasase. Gracias por ser tan auténticos, sois únicos y os echo mucho de menos en la distancia. A mi querido **Paco**. Como un hermano, cuanto de menos se te echa. Ejemplo de valentía. Que lejos me queda Manchester para darte un abrazo, pero siempre estás ahí cuando se te necesita. A mi singular **“Dictadura Democrática”**, diversidad de opiniones, enfados, risas, cafés y “ligaillas”. Cualquier excusa es buena para juntarse. Somos esa generación tan preparada que al mundo le está costando encontrarnos un hueco en su encorsetado régimen, pero mientras tanto, siempre nos quedará el “prao” para solucionar los problemas de la sociedad. A mis intocables **Julio, Dani (mono) y Juanma**. Por hacerme siempre disfrutar del rato que pasamos juntos. Pasa el tiempo y ahí seguimos. Cambiamos, vamos y venimos, pero al final, quedamos y aún nos veo como esos chavales de 16 años sin preocupaciones y con ganas de hacer cosas juntos. Destacar por supuesto a mis ineftos favoritos, mis **“Hombres de Mezcuca”**: los Tazo, Toni, Aarón, Tillo, Valverde, Gayo, Sevilla. La alegría de la sexta planta y lo mejor que encontré en Toledo. Me encantan esos ratos de ponernos al día y las visitas veraniegas. Sois increíbles.

Agradecer al **C.D. Torreperogil** por darme la oportunidad de empezar a trabajar con niños a través de una de mis pasiones como es el fútbol. Hacéis un trabajo fantástico. A mis **amigos/as y compañeros/as docentes** que he tenido la suerte de ir encontrando en cada destino al que he ido. Habéis hecho que toda la experiencia vocacional con el alumnado sea plena gracias a la oportunidad de convivir con grandes profesores/as y personas del **I.E.S. Sierra Blanca, I.E.S. San Sebastián, I.E.S. Santa M^a del Águila y del I.E.S. Padre José Miravent**. No sería justo poner nombres porque seguro que me dejaría muchos y muchas de las que dejan huella y que a día de hoy además puedo considerar como amigos/as, pero si me veo en la necesidad de hacer especial mención de: **Ignacio** (una de las personas más íntegras, leales y atentas que he conocido jamás. Es fácilmente reconocible porque siempre le verás con una cerveza, una sonrisa y predisposición a ayudarte); **M^a José** (pionera e innovadora en Educación Física, gran compañera y referente); **Crivicích** (ejemplo de bondad y humildad que me enseñó a empatizar con los alumnos y ser más cercano con ellos); y **Sonia** (primera compañera en mi primer destino, ejemplo de trabajo, perfeccionamiento y superación. Gracias por tu apoyo y confianza).

Tengo que agradecer a también a grandes profesores y profesoras con los que me he encontrado en mi vida. Personas que han hecho su trabajo con pasión y cercanía y han sido capaces de engancharme a la docencia. Grandes profesionales, más o menos ilustres, pero por siempre en mi memoria como **Don Emilio, José Hidalgo, Norberto, Paco Cuenca, Luis, Marisa** y, sobre todo, **Delia**. Delia, más que una profesora. Risueña, positiva y entregada a sus alumnos y alumnas. Fue una gran tristeza que te marcharas tan pronto, pero hasta el final con una sonrisa. Al ver en tu despedida a tantísimas generaciones de alumnos/as ir a despedirte me llenó de emoción. Esa capacidad de llegar a tantísima gente, ojalá y algún día sea capaz de generar ese sentimiento como tú lo hiciste.

No me puedo olvidar de mis compañeros de viaje e investigación. Sara por explicarme tantas cosas en nuestros viajes a Portugal. Estaba sumamente verde y aprendí un montón trabajando a tu lado. Y sin duda, me faltan palabras de agradecimiento a **Seba**. Un desconocido que vino conmigo a hacer la estancia en Beja y desde el primer momento en que subió al coche, lleno de simpatía, predisposición y atención, supe que ahí tendría un amigo para siempre. Has sido un gran amigo, sacando tiempo para preocuparte de cómo me va y para ayudar en lo que necesite. Tienes mucha culpa de que hoy pueda presentar esta tesis doctoral. Te deseo lo mejor, ya te he dicho mil veces que vas a ser un maestro de época. Gracias amigo.

Deseo dar las gracias a **Vania, Nuno, Murta, Pedro** y en general a toda la **Escola Superior de Educação de Beja** (Portugal) por vuestra acogida allí y todas las facilidades que me habéis dado a mí y a mis compañeros para hacer de nuestra estancia allí. Sin duda, una gran experiencia. *Muito obrigado por tudo.*

Para terminar, quiero dirigirme a mis dos directores de tesis, sin los cuales, esto habría sido imposible.

A **Alberto**. Eres increíble, tienes una capacidad de llevar trabajo adelante que me asombra. Eres ya un referente a nivel profesional, pero he tenido la suerte de conocerte también como persona y ha sido un placer enorme. Me quedo con las anécdotas de cuando iba con Emilio y quedaba con algún profesor o conocido y que, al presentarme a mí, me asociaban contigo, a lo que yo contestaba: “*no, yo soy el malo*”. Esto soltaba una carcajada, pero es que para mí has puesto el listón muy alto. Creo que nunca podré pagarte la cantidad de ayuda y de tiempo que me has dedicado para poder sacar adelante TFM, Tesis Doctoral, Comunicaciones de

Congresos... Eres la persona más preparada que conozco y con un potencial inmenso, estoy seguro de que puedes conseguir lo que te propongas porque a tu nivel no hay metas inalcanzables. Muchísimas gracias compañero, director y amigo.

Y en última instancia, pero posiblemente el artífice más importante y culpable de que haya llegado a este punto, a **Emilio**. Gracias por acoger a ese chaval que se plantó en tu despacho sin conocerte de nada a ofrecerse para ayudar en lo que fuese. Me sorprendió en un primer momento la aceptación inmediata que recibí (mi experiencia era muy escasa), pero con el tiempo entendí el valor que le otorgas al esfuerzo y a la predisposición a trabajar. Atrás quedan las mañanas rodeado de mesas y documentos alrededor de una chimenea y de elaboraciones de PDF enormes, pero todo ha sido parte de una experiencia que me ha marcado mucho. Gracias por ver potencial en mí y alentarme para hacer el doctorado y también por tu apoyo y paciencia en los tiempos que mi situación y trabajo iban marcando. He aprendido mucho de ti (no solo teóricamente, sino de tus experiencias, consejos, ideas y sugerencias), ya sea en clases del Máster, durante el trabajo en casa o en esas charlas tomando café y colacao. Gracias por confiar en un chaval desconocido y abrirle a un sinfín de posibilidades que desconocía que existían. Está claro que conocerte ha sido un punto de inflexión en mi vida, espero haber estado a la altura de las circunstancias y de lo esperado de mí. Yo te estaré eternamente agradecido. MUCHAS GRACIAS EMILIO, ha sido un placer y un privilegio trabajar y convivir contigo.

“Que el trabajo de tus manos sea un signo de gratitud y reverencia a la condición humana”.

Mahatma Gandhi