



Revista Digital de Educación Física

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

EFFECTOS DEL EJERCICIO FÍSICO SOBRE LAS FUNCIONES EJECUTIVAS: UNA REVISIÓN DEL 2010 AL 2016

Fernando Maureira Cid

PhD. En Educación. Escuela de Educación en Ciencias del Movimiento y Deportes, Universidad Católica Silva Henríquez. Santiago, Chile
Grupo de Neurocognición y Educación Física.
Email: maureirafernando@yahoo.es

RESUMEN

El siguiente trabajo es una revisión de las investigaciones sobre los efectos del ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas entre los años 2010 y 2016. Se revisaron las bases de datos Dialnet, Scielo y Pubmed. Se encontró un total de 621 artículos, de los cuales 47 cumplían con los criterios de inclusión (publicados entre el 1° de enero del año 2010 y el 31 de mayo del 2016, idioma español, inglés o portugués, artículos de investigación, estudios realizados en seres humanos y muestras con sujetos sanos). La revisión mostró que la mayoría de los estudios dan cuenta de efectos positivos del ejercicio físico sobre elementos de las funciones ejecutivas como la planificación, flexibilidad mental, control inhibitorio, etc. Además de la relación de dichas variables con la práctica de actividad física, movilidad, capacidad aeróbica, etc. Sin embargo, hay que tener en cuenta que algunos trabajos no mostraron efectos del trabajo físico sobre estas funciones cognitivas, por lo que se hacen necesarios más estudio para especificar el tipo de ejercicio y tiempos de aplicación más adecuados para potenciar estas actividades cerebrales.

PALABRAS CLAVE:

Funciones ejecutivas; ejercicio físico; planificación; inhibición; flexibilidad cognitiva; ejercicio aeróbico.

1. INTRODUCCIÓN

Las funciones ejecutivas pueden ser definidas como los procesos que asocian ideas y acciones simples y las orientan a la resolución de problemas complejos (Shallice, 1982). Para Lezak (1995), son las capacidades mentales esenciales para generar una conducta eficaz, creativa y aceptada socialmente. Por su parte, Lozano y Ostrosky (2011) consideran la planificación, la memoria de trabajo, la flexibilidad cognitiva, la inhibición de la interferencia y el procesamiento riesgo-beneficio como elementos de las funciones ejecutivas. En tanto, Ardila y Ostrosky (2008) consideran la existencia de funciones ejecutivas *metacognitivas*, como la solución de problemas, planificación, formación de conceptos, desarrollo de estrategias y memoria de trabajo, además de funciones ejecutivas emocionales, como la coordinación de la cognición y coordinación de la emoción/motivación.

En la actualidad existen numerosos trabajos que relacionan el ejercicio físico con las funciones cognitivas como, por ejemplo, la atención y memoria, (Ferreyra, Di santo, Morales, Sosa, Mottura y Figueroa, 2011; Gall, 2000; Janssen, Chinapaw, Rauh, Toussaint, Mechelen y Verhagen 2014; Maureira, Carvajal, Henríquez, Vega y Acuña, 2015, etc.) y con el rendimiento académico (Dwyer, Sallis, Blizzard, Lazarus y Dean, 2001; Fredericks, Kokot y Krong, 2006; Maureira, Díaz, Foos, Ibañez, Molina, Aravena, et al., 2014, etc.) dando cuenta de lo importante del trabajo físico para mejorar la actividad cerebral.

Debido a lo anterior, es que se realiza la presente revisión con el objetivo de dar cuenta de los efectos del ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas. Para ello, se analizaron documentos publicados en las bases de datos Dialnet, Scielo y Pubmed, debido a su importancia en el contexto investigativo. La búsqueda entregó un total de 621 artículos (Dialnet=11; Scielo=4; Pubmed=606) de los cuales 47 cumplían con los siguientes criterios de inclusión: a) textos publicados entre el 1° de enero del año 2010 y el 31 de mayo del 2016; b) idioma español, inglés o portugués; c) artículos de investigación; d) estudios realizados en seres humanos; e) muestras con sujetos sanos.

2. DESARROLLO

2.1 EJERCICIO FÍSICO CRÓNICO Y FUNCIONES EJECUTIVAS

Existen numerosos estudios que muestran los efectos positivos del ejercicio físico aplicado durante largo tiempo sobre diversas funciones ejecutivas. En la tabla 1 se muestran los trabajos encontrados en la presente revisión.

Tabla 1. Investigaciones sobre el efecto del ejercicio físico a largo plazo en las funciones ejecutivas.

| Autores | Efecto |
|----------------------|--|
| Chuang et al. (2015) | Programa de <i>Dance Dance Revolution</i> mejora el control inhibitorio. |

| | |
|---------------------------------|---|
| Nouchi et al. (2014) | Programa combinado de ejercicio aeróbico, fuerza y flexibilidad mejoran las funciones ejecutivas. |
| Kayama et al. (2014) | Taichí mejora flexibilidad cognitiva y fluidez verbal. |
| Gothe et al. (2014) | Relación de funciones ejecutivas y movilidad. |
| Reigal y Hernández-Mendo (2014) | Ejercicio físico aeróbico mejora la flexibilidad cognitiva e inhibición de la interferencia. |
| Miranda et al. (2014) | No existió influencia del capoeira sobre la flexibilidad cognitiva y procesamiento léxico-semántico. |
| Lakes et al. (2013) | Artes marciales influyen en las funciones ejecutivas. |
| Voss et al. (2013) | Ejercicio aeróbico no produce mejoras de la flexibilidad cognitiva. |
| Nouchi et al. (2012) | Combinación de ejercicio aeróbico y fuerza mejora la inhibición. |
| Maillot et al. (2012) | Ejercicio físico mejora las funciones ejecutivas. |
| O'Malley (2011) | Ejercicio aeróbico mejora las funciones ejecutivas y rendimiento en matemáticas. |
| Voss et al. (2010) | Ejercicio aeróbico mejora las funciones ejecutivas. |
| Kimura et al. (2010) | Ejercicios de fuerza no provocan mejoras de las funciones ejecutivas. |
| Plunzevic et al. (2010) | Ejercicio físico moderado y alto mejora la flexibilidad cognitiva. |
| Klusmann et al. (2010) | Ejercicio aeróbico mejora la flexibilidad cognitiva. |
| Davis et al. (2010) | Relación entre función ejecutiva, ejercicio físico y calidad de vida. |
| Albinet et al. (2010) | Ejercicio aeróbico mejora la flexibilidad cognitiva. |
| Liu-Ambrose et al. (2010) | Ejercicio aeróbico mejora la inhibición de la interferencia, flexibilidad cognitiva y memoria de trabajo. |

Reigal y Hernández-Mendo (2014) observaron que un programa de ejercicio físico aeróbico y otro de ejercicio físico complementado con estimulación cognitiva, aplicado durante 75 minutos, dos veces por semana durante 20 semanas a adultos mayores, produjeron una mejora de la flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de Trazo A y B ($F=9,03$; $p<0,01$ y $F=61,36$; $p<0,001$) y de la inhibición de la interferencia evaluada con el Test de Stroop ($F=36,08$; $p<0,001$). Por su parte, Liu-Ambrose, Nagamatsu, Graf, Beattie, Ashe y Handy (2010) aplicaron un programa de intervención aeróbica una vez por semana, otro programa aeróbico dos veces por semana y un programa de flexibilidad, ejercicios de balance y técnicas de relajación durante 12 meses a tres grupos de mujeres entre 65 y 75 años, mostrando que los trabajos aeróbicos producen mejoras en la inhibición de la interferencia evaluada con el Test de Stroop, la flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de Trazo A y B y la memoria de trabajo evaluada con la prueba de retención de dígitos adelante y atrás.

Otro estudio realizado con adultos mayores, entregó mejoras de la flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de clasificación de cartas de Wisconsin tras la aplicación de un programa de ejercicio aeróbico tres veces por semana durante 12 semanas (Albinet, Boucard, Bouquet y Audiffren, 2010). Igualmente, un trabajo de Klusmann et al. (2010) muestra que seis meses de intervención de ejercicio aeróbico tres veces por semana, una hora y media cada vez, mejora la flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de Trazo A y B en mujeres con edades entre 70 y 93 años.

En una investigación con adultos jóvenes divididos en tres grupos (de intervención con ejercicio físico leve, moderado y alto) se observó que los grupos moderado y alto obtenían mejores resultados en flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de trazo A y B (Pluncevic, Manchevska y Bozhinovska, 2010). Otro estudio con adultos mayores muestra que 24 sesiones de una hora c/u de ejercicio físico realizado a través de un juego de video mejora las funciones físicas, control ejecutivo y velocidad de procesamiento, pero no en actividades visuoespaciales (Maillot, Perrot y Hartley, 2012).

Voss et al., (2010) aplicaron una intervención de un año de ejercicio aeróbico a adultos mayores, lo cual mejoró la eficiencia funcional de redes cerebrales que conectan la corteza frontal y temporal, lo que repercute en una mejoría de las funciones cognitivas. Por su parte, O'Malley (2011) asignó a 164 estudiantes entre 7 y 11 años a un grupo de intervención con ejercicio aeróbico suave (20 min/día), un grupo con ejercicio aeróbico fuerte (40 min/día) y un grupo control con actividades sedentarias (20 min/día), los programas tuvieron una duración de 13 semanas. Los resultados revelan una mejora de las funciones ejecutivas y rendimiento en matemáticas tras los dos programas físicos, sin existir diferencias significativas entre ellos.

Hawkes, Manselle y Woollacott (2014) analizaron el efecto de largo plazo del taichí, de los ejercicios de meditación, el ejercicio aeróbico y la vida sedentaria, para ellos asignaron a cada grupo sujetos que realizaban dichas actividades durante los últimos cinco años. Los resultados revelan que los practicantes de taichí y meditación poseen mejores desempeños en memoria de trabajo, inhibición y planificación con relación al grupo sedentario ($p=0,001$ y $p=0,006$, respectivamente).

Un estudio de Gothe et al. (2014) muestra relación entre las funciones ejecutivas medidas con paradigmas de doble tarea y la prueba de clasificación de cartas de Wisconsin con las medidas de movilidad (velocidad de caminata y subir y bajar escaleras) en adultos mayores tras 12 meses de intervención de trabajo aeróbico y ejercicios de flexibilidad. En una investigación Lakes et al. (2013) asignaron estudiantes de una escuela pública a un grupo con cinco clases de educación física a la semana y otro con tres clases de educación física y dos clases de artes marciales durante nueve meses. En los resultados se observa un mejor desempeño en inhibición y juicios congruentes en los estudiantes del segundo grupo.

Kayama, Okatomo, Nishiguchi, Yamada, Kuroda y Aoyama (2014) aplicaron durante 12 semanas un entrenamiento de tarea doble de Taichí usando el dispositivo de captura de movimiento Kinetic de Microsoft, lo cual mejoró la flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de trazo A y B y de la fluidez verbal en adultos mayores. Por su parte, Nouchi et al. (2014) aplicaron un programa de ejercicio aeróbico, fuerza y flexibilidad durante 12 sesiones a un grupo de adultos mayores sanos, mostrando mejoras de las funciones ejecutivas, memoria episódica, memoria de trabajo, atención y velocidad de procesamiento de lectura.

Un estudio de Nouchi et al. (2012) reveló que un programa combinado de 12 sesiones de ejercicio aeróbico y de fuerza mejora el desempeño de la inhibición de la interferencia evaluada con el test de Stroop en adultos sanos. Chuang, Hung, Huang, Chang y Hung (2015) aplicaron a un grupo una sesión de Dance Dance Revolution (DDR) tres veces por semana durante tres meses y a otro sesiones de caminata ligera durante el mismo tiempo, encontrando que en ambos casos se produce una mejora del control inhibitorio en mujeres de edad avanzada.

Al contrario de los estudios anteriores, una investigación de Voss, Heo, Prakash, Erickson, Alves, Chaddock, et al. (2013) muestra, entre otras cosas, que no existen efectos de una intervención de ejercicio aeróbico de 40 minutos por sesión, tres veces por semana durante un año, sobre la flexibilidad cognitiva medida con el Test de clasificación de cartas de Wisconsin en una muestra de adultos mayores. Por su parte, Kimura et al. (2010) observaron que una intervención de entrenamiento de la fuerza dos veces por semana, durante 12 semanas no produce mejoras de las funciones ejecutivas. Una investigación realizada por Miranda, Nery y Santos (2014) tampoco revela diferencias significativas al comparar la flexibilidad cognitiva evaluado con el Test de Trazo A y B y procesamiento léxico-semántico evaluado con el Test de fluencia verbal entre un grupo control de adultos mayores y un grupo de adultos mayores practicantes de capoeira durante 3-5 meses, dos veces por semana con 60 minutos cada vez.

2.2 UNA SESIÓN DE EJERCICIO FÍSICO Y FUNCIONES EJECUTIVAS

En la tabla 2 se muestran los estudios donde se aplicó solo una sesión de ejercicio físico para conocer sus efectos sobre las funciones ejecutivas entre los años 2010 y 2016.

Tabla 2. Investigaciones sobre el efecto de una sesión ejercicio físico en las funciones ejecutivas.

| Autores | Efecto |
|--------------------------|---|
| Tsukamoto et al. (2016) | Una sesión de HIIT mejora la inhibición de la interferencia. |
| Browne et al. (2016) | Ejercicio aeróbico mejora la inhibición de la interferencia. |
| Maureira et al. (2016) | Ejercicio aeróbico y anaeróbico no producen mejoras de la inhibición de la interferencia. |
| Howie et al (2015) | Cinco, 10, 15 o 20 min de ejercicio no mejoran la función ejecutiva. |
| Weng et al. (2015) | Ejercicio aeróbico no produce efectos en el control inhibitorio. |
| Byun et al. (2014) | Ejercicio aeróbico mejora la inhibición de la interferencia. |
| Drollette et al. (2014) | Ejercicio aeróbico mejora la inhibición. |
| Chang et al. (2014) | Ejercicios de resistencia mejoran la inhibición de la interferencia. |
| Nanda et al. (2013) | Ejercicio aeróbico mejora la planificación. |
| Wang et al. (2013) | Ejercicio físico al 30% y 50% de la Fcmáx mantiene la flexibilidad cognitiva. |
| Hatta et al. (2013) | Caminata no mejora la flexibilidad cognitiva. |
| Parker et al. (2013) | Ejercicio físico mejora la flexibilidad cognitiva y vigilancia psicomotriz. |
| Gothe et al. (2013) | Yoga mejora la memoria de trabajo e inhibición. |
| Alves et al. (2012) | Ejercicio aeróbico y de resistencia aguda mejoran la inhibición. |
| Chang et al. (2012) | Ejercicios de resistencia mejoran la planificación. |
| Chang et al. (2011) | Ejercicio aeróbico mejora la planificación. |
| Del Giorno et al. (2010) | Ejercicio al umbral ventilatorio disminuye la capacidad de inhibición y flexibilidad cognitiva. |
| Lambourne et al. (2010) | Ejercicio al 90% del umbral ventilatorio no produce mejora del procesamiento de información. |

Del Giorno, Hall, O'Leary, Bixby y Miller (2010) analizaron los efectos de una sesión de entrenamiento aeróbico a 75% del umbral ventilatorio y al umbral ventilatorio (UV), evaluando la atención, velocidad de respuesta y capacidad de inhibición con una tarea de ejecución continua y la flexibilidad cognitiva con el Test de clasificación de cartas de Wisconsin. Las mediciones se realizaron antes de la sesión de ejercicio físico, durante esta, en forma inmediatamente posterior y 20 minutos más tarde. Los resultados muestran una disminución del control en la ejecución de ambos test durante e inmediatamente después del ejercicio al UV, pero no así en el trabajo físico al 75% del UV.

Una investigación realizada por Chang, Tsai, Hung, So, Chen y Etnier (2011) reveló que una sesión de 30 minutos de ejercicio aeróbico en una bicicleta estática, en intensidad moderada y vigorosa, produce una mejora en la resolución de problemas y planificación evaluada con la Torre de Londres en una muestra de jóvenes universitarios. Otro estudio donde se aplicó una sola sesión de siete ejercicios físicos de resistencia (dos series de 10 repeticiones al 70% de una RM) provocó mejoras en la resolución del Test de la Torre de Londres, con menos movimientos, menos errores y menos tiempo en la resolución de la prueba en una muestra de 30 adultos con una edad media de $57,2 \pm 2,93$ años (Chang, Ku, Tomporowski, Chen y Huang, 2012).

Un trabajo de Gothe, Pontifex, Hillman y McAuley (2013) revela que una sesión de yoga provoca mejoras en la memoria de trabajo y la capacidad de inhibición (con menos errores y menores tiempos de reacción) en mayor medida que una sesión de trabajo aeróbico en 30 mujeres con una media de $20,07 \pm 1,95$ años de edad.

Chang, Tsai, Huang, Wang y Chu (2014) aplicaron un tratamiento de una sesión de trabajo de resistencia (siete ejercicios con 10 repeticiones al 70% de un RM) y una sesión control sin ninguna intervención. Los resultados muestran mejoras en la inhibición de la interferencia evaluada con el test de Stroop de la sesión de ejercicio físico en relación al grupo control ($p < 0,001$) en adultos con una media de $58,1 \pm 3,0$ años de edad. Drollette et al. (2014) aplicaron una sesión de 20 minutos de ejercicio aeróbico moderado a niños clasificados por su desempeño escolar en altos y bajos. El primer grupo no mostró diferencias en la actividad cerebral medida con electroencefalografía (EEG) en particular en potenciales evocados, tras la intervención, sin embargo, el segundo grupo mostró mejoras en la actividad cortical, mejorando la ejecución de una prueba de inhibición. Por lo tanto, pre-adolescentes con problemas de control inhibitorio se benefician más de períodos cortos de ejercicio físico.

Byun et al. (2014) aplicaron una sesión de 10 minutos de trabajo aeróbico al 30% del VO₂ máx. lo cual provocó una mejora de la inhibición de la interferencia medida con el test de Stroop en una muestra de 25 sujetos jóvenes. En un estudio de Parker et al. (2013) se analizó los efectos de 90 minutos de ejercicio físico en un ambiente caluroso y templado sobre funciones ejecutivas. Los resultados no muestran diferencias en la flexibilidad cognitiva evaluada con el test de clasificación de cartas de Wisconsin y en una prueba de vigilancia psicomotriz entre ambas condiciones, pero si existen mejoras en ambos casos tras el ejercicio físico.

Un trabajo de Wang, Chu, Chu, Chan y Chang (2013) muestra que la aplicación de una sesión de ejercicio físico al 30% y 50% de la frecuencia cardíaca de reserva mantiene la flexibilidad cognitiva evaluada con el test de clasificación de cartas de Wisconsin, en tanto ejercicio al 80% produce una disminución de los resultados en estudiantes universitarios. Nanda, Balde y Manjunatha (2013) mostraron mejoras de la planificación tras una sesión de 30 minutos de pedaleo en cicloergómetro al 60-70% de la frecuencia cardíaca de reserva de 10 hombres adultos sanos.

Alves et al. (2012) compararon los efectos de una sesión de ejercicio aeróbico y una de resistencia aguda sobre la inhibición evaluada con el test de Stroop y la flexibilidad cognitiva evaluada con el test de trazo A y B, observando mejoras en la ejecución de la primera tarea tras ambas sesiones, pero no de la segunda. Browne et al. (2016) aplicaron una sesión de 30 minutos de ejercicio aeróbico entre el 65% y 75% de la frecuencia cardíaca de reserva, lo cual provocó mejoras en la realización del test de Stroop, con disminución del tiempo de reacción ($p < 0,001$) y disminución de errores ($p = 0,011$) en una muestra de 20 adolescentes.

Un estudio de Tsukamoto et al. (2016) evidenció los beneficios de una sesión de entrenamiento interválico de alta intensidad (HIIT, en inglés) con cuatro minutos al 90% del VO₂ máx., seguidos de tres minutos al 60% del VO₂ máx., sobre la inhibición de la interferencia evaluada con el test de Stroop, aun 30 minutos después de finalizado el ejercicio en un grupo de 12 hombres jóvenes.

A diferencia de los estudios anteriores, un trabajo de Hatta, Nishihira y Higashiura (2013) no muestra efectos de una sesión de caminata sobre la flexibilidad cognitiva evaluada con el test de clasificación de cartas de Wisconsin en una muestra de 20 mujeres y hombres adultos mayores. Lambourne, Audiffren y Tomporowski (2010) observaron que una sesión de ejercicio de pedaleo en un ergómetro al 90% del umbral ventilatorio no provoca variaciones en la atención sostenida, dividida y procesamiento de la información evaluado con la prueba PASAT en adultos jóvenes. Otro estudio, revela que no existen efectos de una sesión de 30 min de ejercicio aeróbico moderado en bicicleta estática sobre el control inhibitorio en una muestra de 26 adultos jóvenes (Weng, Pierce, Darling y Voss, 2015).

Un estudio de Howie, Schatz y Pate (2015) donde aplicaron y compararon los efectos de 5 min, 10 min, 15 min y 20 min de ejercicio físico y 10 min de clase sedentaria sobre la de función ejecutiva y rendimiento matemático en niños de nueve a 12 años, indica que los niños con intervención de 15 y 20 min mejoraron su desempeño en la evaluación matemática en relación al control, pero ningún grupo existió mejora de la función ejecutiva. Maureira, Veliz, Hadweh, Flores y Gálvez (2016) aplicaron una sesión de 30 min de ejercicio aeróbico y anaeróbico sin encontrar mejoras sobre la inhibición de la interferencia evaluada con el test de Stroop en una muestra de estudiantes universitarios.

2.3 RELACIÓN DE PARÁMETROS FÍSICOS Y FUNCIONES EJECUTIVAS

En la tabla 3 se muestran los estudios donde se relacionaron cualidades físicas, composición corporal, práctica de ejercicio físico, etc. con las funciones ejecutivas.

Tabla 3. Investigaciones sobre relación de parámetros físicos y funciones ejecutivas.

| Autores | Efecto |
|----------------------------|--|
| Tian et al. (2015) | Relación entre velocidad de caminata y flexibilidad cognitiva. |
| Huang et al. (2015) | Relación entre capacidad aeróbica y control inhibitorio. |
| Van der Niet et al. (2015) | Actividad física se relaciona con la inhibición, planificación y tiempo de ejecución. |
| Lambiase et al. (2014) | Mayor actividad física atenúa efectos de poco dormir sobre funciones ejecutivas. |
| Zhu et al. (2014) | El VO ₂ máx. no se relaciona con la inhibición de la interferencia. |
| Hawkes et al. (2014) | Practica de Taichí y meditación mejora la memoria de trabajo, inhibición y planificación. |
| Berryman et al. (2013) | Relación entre movilidad y flexibilidad cognitiva. |
| Di Blasio et al. (2013) | Relación entre práctica de ejercicio físico y flexibilidad cognitiva. |
| Netz et al. (2011) | No existió relación entre el VO ₂ máx., la atención, función ejecutiva y cognición general. |
| Scherder et al. (2010) | Relación entre fuerza de cuádriceps, atención, función ejecutiva y memoria de trabajo. |
| Hirota et al. (2010) | Relación positiva de la flexibilidad cognitiva con rendimiento físico. |

Una investigación realizada en Japón con una muestra de 493 adultos mayores reveló que bajos niveles de flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de Trazo A y B se relacionaban con bajos niveles de indicadores de rendimiento físico como velocidad al caminar, equilibrio en una pierna, fuerza de prensión, subir escaleras, etc. (Hirota, et al., 2010). Otro estudio realizado con mujeres adulto mayor sugiere una relación entre la resistencia del músculo cuádriceps con las funciones ejecutivas, atención y memoria de trabajo y de la capacidad aeróbica con la inhibición de la interferencia (Scherder, Eggermont, Geuze, Vis y Verkerke, 2010). De la misma forma, Davis, Marra, Najafzadeh y Liu-Ambrose (2010) relacionaron la calidad de vida, de mujeres con edades entre 65-75 años que habían participado en una intervención de entrenamiento aeróbico durante 12 meses, con la inhibición de la interferencia evaluada con el Test de Stroop, flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de trazo A y B, memoria de trabajo evaluada con la Prueba de amplitud de dígitos verbal hacia atrás y una visión global del estado mental evaluada con el Mini-mental test. Los resultados muestran que la flexibilidad cognitiva y la memoria

de trabajo pueden explicar el 50% de los resultados de la calidad de vida de la muestra, entregando datos sobre la asociación de esta última variable, ejercicio físico y función ejecutiva.

Di Blasio et al. (2013) observaron que la actividad física espontánea es un elemento predictor de la flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de trazo A y B en un grupo de 57 mujeres post-menopáusicas con una media de $58,4 \pm 4,16$ años de edad. Por su parte, Berryman et al. (2013) mostraron relación entre la velocidad en pruebas de movilidad y flexibilidad cognitiva en adultos mayores.

Van der Niet, Smith, Scherder, Oosterlaan, Hartman y Visscher (2015) evaluaron la actividad física diaria de 80 niños con edades entre 8 y 12 años mediante un acelerómetro, encontrando una relación negativa entre sedentarismo e inhibición medida con el test de Stroop ($r=-0,24$), una relación positiva entre cantidad de actividad física y planificación evaluada con la torre de Londres ($r=0,24$) y una relación negativa entre cantidad de actividad física y tiempo de ejecución evaluada con la prueba de Span visual ($r=-0,29$). Huang, et al. (2015) encontraron una relación positiva entre la capacidad aeróbica con el control inhibitorio ($p=0,04$) y rendimiento en matemáticas en adolescentes ($p<0,001$) y una relación negativa entre adiposidad y control inhibitorio ($p=0,005$). Otro estudio muestra relación entre la variación intra-individual del tiempo en recorrer una distancia de 400 metros en personas de más de 60 años (calculada en base a dos mediciones realizadas el año 2007 y 2013) y la función ejecutiva, donde un mayor tiempo de recorrido se asocia con peor desempeño en pruebas de flexibilidad cognitiva como el test de trazo A y B (Tian, Resnick, Ferrucci y Studenski, 2015).

Al contrario de los resultados anteriores, Netz, Dwolatzky, Zinker, Argov y Agmon (2011) no encontraron relación entre el VO₂ máx y la atención, función ejecutiva y cognición en general en una muestra de 38 individuos con edades entre 65 y 85 años. Por su parte, el estudio longitudinal *CARDIA* que evaluó la capacidad aeróbica máxima y algunas funciones cognitivas a un conjunto de sujetos en un momento cero y 20 años después, mostró una relación entre VO₂ máx. y la memoria de trabajo, atención y la memoria verbal, pero no con la inhibición de la interferencia evaluada con el test de Stroop (Zhu, et al. 2014).

En un estudio, Lambiase, Gabriel, Kuller y Matthews (2014) evaluaron el efecto del ejercicio físico y el sueño sobre las funciones ejecutivas en mujeres con una edad media de $73,3 \pm 1,7$ años. Ambas variables se midieron durante siete días, mostrando que la baja eficiencia del sueño se asocia con menos flexibilidad cognitiva evaluada con el Test de trazo A y B y con los resultados del test de sustitución de dígitos y símbolos en mujeres con bajos niveles de actividad física, pero no en mujeres con altos niveles de actividad física. Esto sugiere que mayor actividad física puede atenuar el impacto negativo de la falta de sueño en funciones ejecutivas.

La figura 1 corresponde a un resumen con el porcentaje de trabajos que muestran efectos positivos del ejercicio físico de largo plazo sobre funciones ejecutivas (83,3%), efectos de una sesión de ejercicio físico (61,1%) y de relación de parámetros físicos y estas funciones cerebrales (81,8%). De igual forma, se aprecia que casi el 40% de los estudios donde se aplicó una sesión de trabajo físico no influye en las diferentes dimensiones de las funciones ejecutivas.

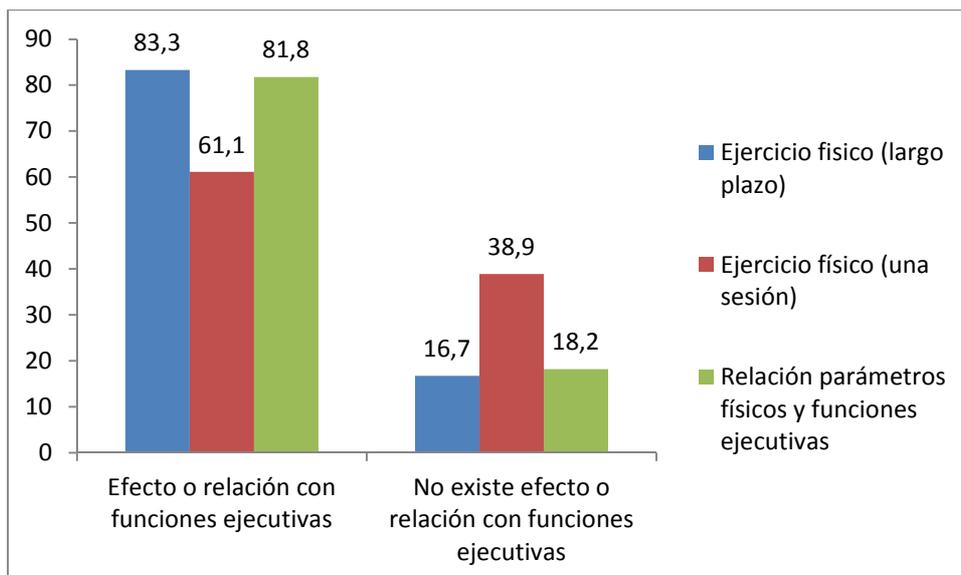


Figura 1. Porcentaje de trabajos que muestran influencia del ejercicio físico sobre funciones ejecutivas.

3. CONCLUSIÓN

Los estudios realizados sobre el efecto del ejercicio físico sobre las funciones ejecutivas publicados entre los años 2010 y 2016 muestran preferentemente resultados positivos, mediante efectos que incrementan la planificación, la flexibilidad cognitiva o el control inhibitorio sobre todo del ejercicio aeróbico. Es posible notar que dicha situación ocurre cuando el trabajo físico se aplica en forma crónica mediante sesiones realizadas varias semanas o meses y cuando la intervención se realiza una sola vez con duraciones de minutos u horas. Esto da cuenta de que el ejercicio físico puede tener efecto sobre estas funciones cerebrales aun cuando su aplicación sea de corta duración, siempre y cuando se realice con la intensidad adecuada, con rangos que varían entre el 60 y 80% de la frecuencia cardíaca máxima.

También es posible notar en los trabajos analizados que en gran parte de ellos se encontró relación entre variables como el consumo máximo de oxígeno, la práctica de actividad física, nivel de movilidad, etc. y el desempeño de pruebas que evalúan las funciones cognitivas. Esto presenta coherencia con los resultados anteriores, donde se apunta a una estrecha asociación entre niveles altos de actividad física y buenos rendimientos en diversas funciones cerebrales.

Finalmente, se hacen necesarias futuras investigaciones para esclarecer intervenciones que en determinados grupos no presentan efectos sobre las funciones ejecutivas. Esto parece indicar, que si bien el ejercicio físico puede mejorar funciones cognitivas, esto depende del tipo de ejercicio y el tiempo de aplicación del mismo.

4. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albinet, C., Boucard, G., Bouquet, C. & Audiffren, M. (2010). Increased heart rate variability and executive performance after aerobic training in the elderly. *Eur J Appl Physiol*, 109(4), 617-624.

Alves, C., Gualano, B., Takao, P., Avakian, P., Fernandes, R., Morine, D. et al (2012). Effects of acute physical exercise on executive functions: a comparison between aerobic and strength exercise. *J Sport Exerc Psychol*, 34(4), 539-549.

Ardila, A. & Ostrosky, F. (2008). Desarrollo histórico de las funciones ejecutivas. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencia*, 8(1), 1-21.

Berryman, N., Bherer, L., Nadeau, S., Lauziere, S., Lehr, L., Bobeuf, F., et al. (2013). Executive functions, physical fitness and mobility in well-functioning older adults. *Exp Gerontol*, 48(12), 1402-1409.

Browne, R., Costa, E., Sales, M., Fonteles, A., Moraes, J. & Barros, J. (2016). Acute effect of vigorous aerobic exercise on the inhibitory control in adolescents. *Rev Paul Pediatr*, 34(2), 154-161.

Byun, K., Hyodo, K., Suwabe, K., Ochi, G., Sakairi, Y., Kato, M., et al. (2014). Positive effect of acute mild exercise on executive function via arousal-related prefrontal activations: an fNIRS study. *Neuroimage*, 98, 336-345.

Chang, Y., Ku, P., Tomporowski, P., Chen F. & Huang, C. (2012). Effects of acute resistance exercise on late-middle-age adults' goal planning. *Med Sci Sports Exerc*, 44(9), 1773-1779.

Chang, Y., Tsai, C., Huang, C., Wang, C. & Chu, I. (2014). Effects of acute resistance exercise on cognition in late middle-aged adults: general or specific cognitive improvement? *J Sci Med Sport*, 17(1), 51-55.

Chang, Y., Tsai, C., Hung, T., So, E., Chen, F. & Etnier, J. (2011). Effects of acute exercise on executive function: a study with a Tower of London Task. *J Sport Exerc Psychol*, 33(6), 847-865.

Chuang, L., Hung, H., Huang, C., Chang, Y. & Hung, T. (2015). A 3-month intervention of Dance Dance Revolution improves interference control in elderly females: a preliminary investigation. *Exp Brain Res*, 233(4), 1181-1188.

Davis, J., Marra, C., Najafzadeh, M. & Liu-Ambrose, T. (2010). The independent contribution of executive functions to health related quality of life in older women. *BMC Geriatr*, 10, 16-23.

Del Giorgio, J., Hall, E., O'Leary, K., Bixby, W. & Miller, P. (2010). Cognitive function during acute exercise: a test of the transient hypofrontality theory. *J Sport Exerc Psychol*, 32(3), 312-323.

Di Blasio, A., Bucci, I., Napolitano, G., Melanzi, S., Izzicupo, P., Di Donato, F., et al. (2013). Characteristics of spontaneous physical activity and executive functions in postmenopause. *Minerva Med*, 104(1), 61-74.

Drollette, E., Scudder, M., Raine, L., Moore, R., Saliba, B., Pontifex, M., et al. (2014). Acute exercise facilitates brain function and cognition in children who need it most: an ERP study of individual differences in inhibitory control capacity. *Dev Cogn Neurosci*, 7, 53-64.

Dwyer, T., Sallis, J., Blizzard, L., Lazarus, R. & Dean, K. (2001). Relation of academic performance physical activity and fitness in children. *Pediatric Exercise Science* 13, 225-237.

Ferreya, J., Di Santo, M., Sosa, M., Mottura, E. & Figueroa, C. (2011). Efecto agudo y crónico del ejercicio físico sobre la percepción-atención en jóvenes universitarios. *Calidad de Vida*, 3(6), 103-136.

Fredericks, C., Kokot, S. & Krog, S. (2006). Using a developmental movement programme to enhance academic skills in grade 1 learners. *S Afr J Res Sport Phys Educ Recreation*, 28(1), 29-42.

Gall, H. (2000). *Proyecto escuela en movimiento*. Universidad Pedagógica de Ludwigsburg. Alemania.

Gothe, N., Fanning, J., Awick, E., Chung, D., Wójcicki, T., Olson, E., et al. (2014). Executive function processes predict mobility outcomes in older adults. *J Am Geriatr Soc*, 62(2), 285-290.

Gothe, N., Pontifex, M., Hillman, C. & McAuley, E. (2013). The acute effects of yoga on executive function. *J Phys Act Health*, 10(4), 488-495.

Hatta, A., Nishihira, Y. & Higashiura, T. (2013). Effects of a single bout of walking on psychophysiologic responses and executive function in elderly adults: a pilot study. *Clin Intery Aging*, 8, 945-952.

Hawkes, T., Manselle, W. & Woollacott, M. (2014). Cross-Sectional Comparison of Executive Attention Function in Normally Aging Long-Term T'ai Chi, Meditation, and Aerobic Fitness Practitioners Versus Sedentary Adults. *J Altern Complement Med*, 20(3), 178-184.

Hirota, C., Watanabe, M., Sun, W., Tanimoto, Y., Kono, R., Takasaki, K., et al. (2010). Association between the Trail Making Test and physical performance in elderly Japanese. *Geriatr Gerontol Int*, 10(1), 40-47.

Howie, E., Schatz, J. & Pate, R. (2015). Acute Effects of Classroom Exercise Breaks on Executive Function and Math Performance: A Dose-Response Study. *Res Q Exercise Sport*, 86(3), 217-224.

Huang, T., Tarp, J., Domazet, S., Thorsen, A., Froberg, K., Andersen, L., et al. (2015). Associations of Adiposity and Aerobic Fitness with Executive Function and Math Performance in Danish Adolescents. *J Pediatr*, 167(4), 810-815.

Janssen, M., Chinapaw, M., Rauh, S., Toussaint, H., Mechelen, W. & Verhagen, E. (2014). A short physical activity break from cognitive task increases selective

attention in primary school children aged 10-11. *Mental Health and Physical Activity*, 9, 1-9.

Kayama, H., Okamoto, K., Nishiguchi, S., Yamada, M., Kuroda, T. & Aoyama, T. (2014). Effect of a Kinect-based exercise game on improving executive cognitive performance in community-dwelling elderly: case control study. *J Med Internet Res*, 16(2), e61.

Kimura, K., Obuchi, S., Arai, T., Nagasawa, H., Shiba, Y., Watanabe, S., et al. (2010). The influence of short-term strength training on health-related quality of life and executive cognition function. *J Physiol Anthropol*, 29(3), 95-101.

Klusmann, V., Evers, A., Schwarzer, R., Schlattmann, P., Reischies, F., Heuser, I., et al. (2010). Complex mental and physical activity in older women and cognitive performance: a 6-month randomized controlled trial. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 65(6), 680-688.

Lakes, K., Bryars, T., Sirisinahal, S., Salim, N., Arastoo, S., Emmerson, N., et al. (2013). The Healthy for Life Taekwondo Pilot Study: A Preliminary Evaluation of Effects on Executive Function and BMI, Feasibility, and Acceptability. *Ment Health Phys Act*, 6(3), 181-188.

Lambiase, M., Gabriel, K., Kuller, L. & Matthews, K. (2014). Sleep and executive function in older women: the moderating effect of physical activity. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci*, 69(9), 1170-1176.

Lambourne, K., Audiffren, M. & Tomporowski, P. (2010). Effects of acute exercise on sensory and executive processing tasks. *Med Sci Sports Exerc*, 42(7), 1396-1402.

Lezak, M. (1995). *Neuropsychological assessment*. New York: Oxford University Press.

Liu-Ambrose, T., Nagamatsu, L., Graf, P., Beattie, B., Ashe, M. & Handy, T. (2010). Resistance training and executive functions: a 12-month randomized controlled trial. *Arch Intern Med*, 170(2), 170-178.

Lozano, A. & Ostrosky, F. (2011). Desarrollo de las funciones ejecutivas y de la corteza prefrontal. *Revista de Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencia*, 11(1), 159-172.

Maillot, P., Perrot, A. & Hartley, A. (2012). Effects of interactive physical-activity video-game training on physical and cognitive function in older adults. *Psychol Aging*, 27(3), 589-600.

Maureira, F., Díaz, I., Foos, P., Ibañez, C., Molina, D., Aravena, F., et al. (2014). Relación entre la práctica de actividad física y el rendimiento académico en escolares de Santiago de Chile. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, 15(1), 43-50.

Maureira, F., Henríquez, F., Carvajal, D., Vega, J. & Acuña, C. (2015). Efectos del ejercicio físico agudo sobre la memoria visual de corto plazo en estudiantes universitarios. *Revista Ciencias de la Actividad Física UCM*, 16(1), 31-37.

Maureira, F., Veliz, C., Hadweh, M., Flores, E. & Gálvez, C. (2016). Efectos del ejercicio físico sobre la inhibición de respuestas automáticas en estudiantes universitarios. *EmasF, Revista Digital de Educación Física*, 7(38), 18-26.

Miranda, D., Nery, S. & Santos, C. (2014). Avaliação neuropsicológica de idosos praticantes de capoeira. *Rev Bras Med Esporte*, 20(1), 51-54.

Nanda, B., Balde, J. & Manjunatha, S. (2013). The Acute Effects of a Single Bout of Moderate-intensity Aerobic Exercise on Cognitive Functions in Healthy Adult Males. *J Clin Diagn Res*, 7(9), 1883-1885.

Netz, Y., Dwolatzky, T., Zinker, Y., Argov, E. & Agmon, R. (2011). Aerobic fitness and multidomain cognitive function in advanced age. *Int Psychogeriatr*, 23(1), 114-124.

Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Sekiguchi, A., Hashizume, H., Nozawa, T., et al. (2014). Four weeks of combination exercise training improved executive functions, episodic memory, and processing speed in healthy elderly people: evidence from a randomized controlled trial. *Age (Dordr)*, 36(2), 787-799.

Nouchi, R., Taki, Y., Takeuchi, H., Hashizume, H., Nozawa, T., Sekiguchi, A., et al. (2012). Beneficial effects of short-term combination exercise training on diverse cognitive functions in healthy older people: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 13, 200.

O'Malley, G. (2011). Aerobic exercise enhances executive function and academic achievement in sedentary, overweight children aged 7-11 years. *J Physiother*, 57(4), 255.

Parker, S., Erin, J., Pryor, R., Khorana, P., Suyama, J., Guyette, F., et al. (2013). The effect of prolonged light intensity exercise in the heat on executive function. *Wilderness Environ Med*, 24(3), 203-210.

Pluncevic, J., Manchevska, S. & Bozhinovska, L. (2010). Psychomotor speed in young adults with different level of physical activity. *Med Arh*, 64(3), 139-143.

Reigal, R. & Hernández-Mendo, A. (2014). Efectos de un programa cognitivo-motriz sobre la función ejecutiva en una muestra de personas mayores. *RYCIDE, Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 10(37), 206-220.

Shallice, T. (1982). Specific impairments of planning. *Philos Trans Royal Soc Lond*, 298, 199-290

Scherder, E., Eggermont, L., Geuze, R., Vis, J. & Verkerke, G. (2010). Quadriceps strength and executive functions in older women. *Am J Phys Med Rehabil*, 89(6), 458-463.

Tian, Q., Resnick, S., Ferrucci, L. & Studenski, S. (2015). Intra-individual lap time variation of the 400-m walk, an early mobility indicator of executive function decline in high-functioning older adults? *Age (Dordr)*, 37(6), 115.

Tsukamoto, H., Suga, T., Takenaka, S., Tanaka, D., Takeuchi, T., Hamaoka, T., et al. (2016). Greater impact of acute high-intensity interval exercise on post-exercise executive function compared to moderate-intensity continuous exercise. *Physiol Behav*, 155, 224-230.

Van der Niet, A., Smith, J., Scherder, E., Oosterlaan, J., Hartman, E. y Visscher, C. (2015). Associations between daily physical activity and executive functioning in primary school-aged children. *J Sci Med Sport*, 18(6), 673-677.

Voss, M., Heo, S., Prakash, R., Erickson, K., Alves, H., Chaddock, L., et al. (2013). The influence of aerobic fitness on cerebral white matter integrity and cognitive function in older adults: results of a one-year exercise intervention. *Hum Brain Mapp*, 34(11), 2972-2985.

Voss, M., Prakash, R., Erickson, K., Basak, C., Chaddock, L. Kim, J., et al. (2010). Plasticity of brain networks in a randomized intervention trial of exercise training in older adults. *Front Aging Neurosci*, 2, 1-17.

Wang, C., Chu, C., Chu, I., Chan, K & Chang, Y. (2013). Executive function during acute exercise: the role of exercise intensity. *J Sport Exerc Psychol*, 35(4), 358-367.

Weng, T., Pierce, G., Darling, W. & Voss, M. (2015). Differential Effects of Acute Exercise on Distinct Aspects of Executive Function. *Med Sci Sports Exerc*, 47(7), 1460-1469.

Zhu, N., Jacobs, D., Schreiner, P., Yaffe, K., Bryan, N., Launer, L., et al. (2014). Cardiorespiratory fitness and cognitive function in middle age: the CARDIA study. *Neurology*, 82(15), 1339-1346.

Fecha de recepción: 15/9/2016
Fecha de aceptación: 29/11/2016