



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

**TESIS DOCTORAL INTERNACIONAL /
INTERNATIONAL DOCTORAL THESIS**

**BENEFICIOS DE LA MANIPULACIÓN DE LA CARGA
MENTAL DEL EJERCICIO FÍSICO SOBRE EL
RENDIMIENTO COGNITIVO, ACADÉMICO Y
DEPORTIVO**

**BENEFITS OF MANIPULATION OF THE MENTAL
LOAD OF PHYSICAL EXERCISE ON COGNITIVE,
ACADEMIC AND SPORTS PERFORMANCE**

**IKER MADINABEITIA CABRERA
DIRECTOR: Dr. DAVID CÁRDENAS**

**PROGRAMA DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN
(B22.56.1)
FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL
DEPORTE**

Tesis Doctoral Internacional / International Doctoral Thesis

**BENEFICIOS DE LA MANIPULACIÓN DE LA
CARGA MENTAL DEL EJERCICIO FÍSICO
SOBRE EL RENDIMIENTO COGNITIVO,
ACADÉMICO Y DEPORTIVO**

**BENEFITS OF MANIPULATION OF THE
MENTAL LOAD OF PHYSICAL EXERCISE ON
COGNITIVE, ACADEMIC AND SPORTS
PERFORMANCE**



**UNIVERSIDAD
DE GRANADA**

PROGRAMA OFICIAL DE DOCTORADO EN CIENCIAS DE LA EDUCACIÓN

DEPARTAMENTO EDUCACIÓN FÍSICA Y DEPORTIVA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

UNIVERSIDAD DE GRANADA

IKER MADINABEITIA CABRERA

2023

Editor: Universidad de Granada. Tesis Doctorales
Autor: Iker Medinabeitia Cabrera
ISBN: 978-84-1117-952-2
URI: <https://hdl.handle.net/10481/83381>



Prof. Dr. David Cárdenas Vélez
Profesor Titular de Universidad

Departamento de Educación Física y Deportiva
Facultad de Ciencias del Deporte
Universidad de Granada

DAVID CÁRDENAS VÉLEZ, PROFESOR TITULAR DE UNIVERSIDAD DE LA
UNIVERSIDAD DE GRANADA

CERTIFICA:

Que la Tesis Doctoral titulada “Beneficios de la manipulación de la carga mental del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo, académico y deportivo” que presenta D. Iker Madinabeitia Cabrera al superior juicio del Tribunal que designe la Universidad de Granada, ha sido realizada bajo mi dirección durante los años 2017- 2023, siendo expresión de la capacidad técnica e interpretativa de su autor en condiciones tan aventajadas que le hacen merecedor del Título de Doctor por la Universidad de Granada, siempre y cuando así lo considere el citado Tribunal.

Fdo: David Cárdenas Vélez

En Granada, 17 de Abril de 2023

El doctorando / The *doctoral candidate* **Iker Madinabeitia Cabrera** y los directores de la tesis / and the thesis supervisor/s: **David Cárdenas Vélez**

Garantizamos, al firmar esta tesis doctoral, que el trabajo ha sido realizado por el doctorando bajo la dirección de los directores de la tesis y hasta donde nuestro conocimiento alcanza, en la realización del trabajo, se han respetado los derechos de otros autores a ser citados, cuando se han utilizado sus resultados o publicaciones.

/

Guarantee, by signing this doctoral thesis, that the work has been done by the doctoral candidate under the direction of the thesis supervisor/s and, as far as our knowledge reaches, in the performance of the work, the rights of other authors to be cited (when their results or publications have been used) have been respected.

Lugar y fecha / Place and date:

En Granada a 17 de Abril de 2023

Director/es de la Tesis / *Thesis supervisor/s*; Doctorando / *Doctoral candidate*:

Fdo. David Cárdenas Vélez

Fdo. Iker Madinabeitia Cabrera

Índice

RESUMEN	9
ABSTRACT	11
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	13
<i>Contextualización</i>	15
<i>Ejercicio físico, funciones ejecutivas y estructuras cerebrales</i>	17
<i>Ejercicio físico y carga mental</i>	18
<i>Efecto del ejercicio físico sobre el rendimiento deportivo y el paradigma de la doble tarea</i>	22
<i>Efecto agudo del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo e indicadores de rendimiento académico</i>	24
<i>Efecto crónico del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo e indicadores de rendimiento académico</i>	25
<i>Hipótesis y justificación</i>	27
CAPÍTULO II. OBJETIVOS/AIMS	31
CAPÍTULO III: EFECTO DEL EJERCICIO FÍSICO SOBRE EL RENDIMIENTO DEPORTIVO	33
<i>Estudio 1. La carga mental deteriora la precisión del pase en jugadores de fútbol</i>	35
<i>Estudio 2. Intraocular Pressure as an Indicator of the Level of Induced Anxiety in Basketball</i>	49
CAPÍTULO IV: EFECTO CRÓNICO ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL EJERCICIO FÍSICO CON CARGA MENTAL	63
<i>Estudio 3.1. The cognitive benefits of basketball training compared to a combined endurance and resistance training regimen</i>	65
<i>Estudio 3.2. Effects of a 4-month training program in basketball and fitness on prefrontal cortical structures in healthy university students</i>	87
CAPÍTULO V. DISCUSIÓN	101
<i>Resumen de los principales hallazgos</i>	103

<i>Breve discusión de los principales hallazgos con referencia a la literatura relacionada y sus posibles aplicaciones.....</i>	104
<i>Limitaciones y fortalezas.....</i>	107
<i>Futura dirección de las próximas investigaciones.....</i>	108
<i>Conclusiones.....</i>	111
<i>Conclusions.....</i>	113
REFERENCIAS.....	114
AGRADECIMIENTOS.....	135
LISTA DE TABLAS.....	139
LISTA DE FIGURAS.....	141
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN.....	143
PUBLICACIONES CIENTÍFICAS DERIVADAS DE ESTA TESIS DOCTORAL.....	145
COMUNICACIONES Y PONENCIAS.....	146
ESTANCIAS DE INVESTIGACIÓN EN EL EXTRANJERO.....	147

RESUMEN

El ejercicio físico regular ha sido asociado con múltiples beneficios para la salud, incluyendo la reducción del riesgo de enfermedades crónicas como enfermedades cardiovasculares, diabetes tipo 2, cáncer y trastornos mentales. Además, estudios recientes han encontrado que produce cambios no solo funcionales, sino también estructurales en el cerebro, y se ha demostrado que está relacionado con mejoras en el rendimiento cognitivo y académico en niños y adultos.

Meta-análisis recientes han demostrado que una combinación de ejercicio aeróbico y de fuerza produce beneficios más significativos que si ambos tipos de ejercicio se practicaran de forma independiente. Los estímulos externos durante los ejercicios cognitivos, como los juegos que requieren procesamiento de información y el uso de las funciones ejecutivas para lograr el éxito, también pueden contribuir a mejorar el rendimiento cognitivo si nos basamos en “la hipótesis de la estimulación cognitiva”, pero es difícil encontrar en la literatura estudios que comparen el efecto entre una práctica con carga mental frente a una ausente de ella. La carga mental asociada con estas actividades tiene dos dimensiones: una puramente cognitiva y otra emocional. Las condiciones ambientales del juego o tarea con este tipo de demandas someten a los individuos a un proceso continuo de iniciación, control y flexibilidad del comportamiento, que se cree que estimula procesos componentes de la función cognitiva. Deportes como el baloncesto, que exigen atención en un entorno en constante cambio para percibir la información necesaria y tomar decisiones, se consideran un excelente contexto para mejorar la cognición.

Uno de los paradigmas más utilizados para ver el efecto de aplicar carga mental sobre el rendimiento deportivo es el de la doble tarea, en la cual el deportista debe realizar la habilidad específica de su deporte mientras se somete a una tarea secundaria que demanda parte de sus recursos atencionales. Los resultados muestran un deterioro del rendimiento en los novatos pero no en los expertos, lo que sugiere que la tarea secundaria no interfiere en la ejecución de la habilidad. Sin embargo, no se ha comprobado si la tarea secundaria cognitiva era lo suficientemente estimulante como para afectar el rendimiento motor.

El objetivo principal de esta Tesis Doctoral Internacional fue examinar el impacto de realizar ejercicio físico con carga mental en el rendimiento cognitivo (i.e. funciones ejecutivas), la morfología de las estructuras cerebrales y el rendimiento deportivo. Para lograr esto, se llevaron a cabo tres estudios experimentales, incluyendo dos estudios transversales y un estudio longitudinal que involucró una intervención de entrenamiento de 4 meses con un grupo control, un grupo fitness y un grupo que practicaba baloncesto por ser un ejercicio físico con presencia de carga mental.

Los resultados de los estudios transversales fueron que cuando se aumentaba la cantidad de estímulos para actualizar y mantener la información en la memoria de trabajo, disminuía su precisión. Además, los hallazgos demostraron que la frustración y la ansiedad que provocaban la tarea también afectaban negativamente el desempeño.

En cuanto al estudio longitudinal, se ha constatado que la práctica de ejercicio físico puede mejorar el desempeño en las funciones ejecutivas: se observó una mejoría únicamente en la flexibilidad cognitiva del grupo de fitness, mientras que la mejora del control inhibitorio fue significativamente mayor en el grupo cuya práctica involucraba componentes cognitivo-emocionales que aumentaban la carga mental de la tarea. Asimismo, se observaron cambios en la estructura del córtex prefrontal del cerebro a través de resonancia magnética. Concretamente, se encontró un aumento en las regiones dorsal, medial y ventrolateral en el grupo que practicó ejercicio físico con carga mental.

ABSTRACT

Regular physical exercise has been associated with multiple health benefits, including a reduction in the risk of chronic diseases such as cardiovascular disease, type 2 diabetes, cancer, and mental disorders. Additionally, recent studies have found that exercise produces not only functional but also structural changes in the brain, and has been shown to be related to improvements in cognitive and academic performance in children and adults.

Recent meta-analyses have demonstrated that a combination of aerobic and strength exercise produces more significant benefits than if both types of exercise were practiced independently. External stimuli during cognitive exercises, such as games that require information processing and the use of executive functions to achieve success, may also contribute to improving cognitive performance based on the "cognitive stimulation hypothesis," but it is difficult to find studies in the literature that compare the effect between a practice with mental load versus one without it. The mental load associated with these activities has two dimensions: one purely cognitive and one emotional. The environmental conditions of the game or task with this type of demand subject individuals to a continuous process of initiation, control, and flexibility of behavior, which is believed to stimulate component processes of cognitive function. Sports such as basketball, which require attention in a constantly changing environment to perceive necessary information and make decisions, are considered an excellent context for improving cognition.

One of the most used paradigms to see the effect of applying mental load on sports performance is the dual-task paradigm, in which the athlete must perform the specific skill of their sport while undergoing a secondary task that demands some of their attentional resources. The results show a deterioration in performance in novices but not in experts, suggesting that the secondary cognitive task does not interfere with skill execution. However, it has not been verified whether the cognitive secondary task was stimulating enough to affect motor performance.

The main objective of this International Doctoral Thesis was to examine the impact of performing physical exercise with mental load on cognitive performance (i.e. executive functions), the morphology of brain structures, and sports performance. To

achieve this, three experimental studies were conducted, including two cross-sectional studies and a longitudinal study that involved a 4-month training intervention with a control group, a fitness group, and a group that practiced basketball as a physical exercise with the presence of mental load.

The results of the cross-sectional studies were that when the amount of stimuli to update and maintain information in working memory increased, its precision decreased. Additionally, the findings demonstrated that the frustration and anxiety provoked by the task also negatively affected performance.

Regarding the longitudinal study, it was found that physical exercise practice can improve performance in executive functions: an improvement was observed only in the cognitive flexibility of the fitness group, while the improvement in inhibitory control was significantly greater in the group whose practice involved cognitive-emotional components that increased the mental load of the task. Additionally, changes were observed in the structure of the prefrontal cortex of the brain through magnetic resonance imaging. Specifically, an increase was found in the dorsal, medial, and ventrolateral regions in the group that practiced physical exercise with mental load.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

Contextualización

En la actualidad, no existe duda acerca de los beneficios que la práctica regular del ejercicio físico (EF) tiene para la salud. De hecho, la lista de enfermedades crónicas de creciente prevalencia en países desarrollados que han sido asociadas a la falta de EF es extensa: enfermedades cardiovasculares como el infarto de miocardio o la hipertensión, enfermedades metabólicas como la diabetes tipo 2, cáncer, enfermedades pulmonares, disfunción del sistema inmunológico, trastornos músculo-esqueléticos como la artritis (F. Booth et al., 2002) y enfermedades de naturaleza mental. Para todas ellas el EF se ha mostrado como un antídoto eficaz. Sin embargo, el sedentarismo sigue siendo uno de los rasgos esenciales del estilo de vida predominante en occidente. Por ello, la Organización Mundial de la Salud (OMS) adoptó la “Estrategia mundial sobre régimen alimentario, actividad física y salud” con el objetivo de promover una vida activa que contribuya a la reducción del riesgo de padecer estas enfermedades o problemas de salud. La OMS establece que 30 minutos de EF moderado 5 veces a la semana no sólo contribuye significativamente a paliar los efectos adversos del sedentarismo para la salud física sino que también genera beneficios sobre la salud mental y psicológica (reducción de estrés, depresión, ansiedad). Desde los ámbitos de la medicina y la psicología las evidencias señalando los efectos positivos de la práctica de EF sobre la salud mental son crecientes y numerosas en los últimos años (Penedo y Dahn, 2005).

Las investigaciones realizadas han establecido una clara relación entre la práctica de EF y la reducción del riesgo de padecer algún trastorno mental (e.g., depresión o ansiedad), así como la influencia positiva del EF en su tratamiento. Fruto del interés científico por investigar ambas relaciones, los hallazgos de las últimas décadas han profundizado más en el área encontrando muchas evidencias de que la práctica de EF regular produce cambios no sólo funcionales (i.e. rendimiento cognitivo, académico y motor) sino también estructurales del cerebro. Por ejemplo, un meta-análisis elaborado por Sibley y Etnier (2003) determinó una relación positiva entre EF y el rendimiento cognitivo en niños en edad escolar (de 4 a 18 años) en ocho categorías de medida (habilidades perceptivas, cociente de inteligencia, logros, pruebas verbales, pruebas matemáticas, memoria, nivel de desarrollo, preparación académica y otros).

Aunque los trabajos de la última década mostraban que los efectos del EF sobre la cognición diferían en distintas etapas madurativas (Chang et al., 2012), los estudios y meta-análisis más recientes están observando que la edad no es un factor que medie en el efecto sobre la cognición, como en la revisión de Shi et al., (2022) donde no encontraron diferencias en efectividad al comparar un grupo de edad pre-escolar con otro post pre-escolar. En cualquier caso, la escasez de estudios de esta naturaleza invita a la prudencia al extraer conclusiones.

El tipo de EF con más presencia en la literatura es de tipo aeróbico, siendo la “hipótesis cardiovascular”, la que mayor fuerza ha tomado hasta el momento para tratar de dar explicación a los cambios observados. Según esta teoría, los beneficios en la función cognitiva están mediados por la mejora de la condición física concomitante (Colcombe et al., 2004, 2006; Hillman et al., 2008). Sin embargo, recientemente están apareciendo estudios en los que se observan efectos beneficiosos derivados de otros tipos de EF. Por ejemplo, cada vez hay más evidencias de que un nivel adecuado de fuerza muscular también está relacionado con la salud y el funcionamiento del cerebro (i.e. funciones cognitivas). Se ha reportado que un mayor nivel de fuerza isocinética del cuádriceps se vincula con un mejor desempeño en las habilidades cognitivas (Chen et al., 2015; Frith y Loprinzi, 2018; Nakamoto et al., 2012). Además, se observó que las ganancias en la fuerza muscular dinámica después de 6 meses de entrenamiento producían mejoras cognitivas (Mavros et al., 2017). No obstante, un metanálisis no observó una correlación entre el tamaño muscular y la cognición, pero informó que tanto la fuerza como el tamaño muscular estaban relacionadas con la estructura cerebral (Cárdenas et al., 2018; Kilgour et al., 2014; Shaughnessy et al., 2020).

En cualquier caso, se puede apreciar que las características que definen el tipo de EF más estudiadas son cuantitativas (e.g. intensidad, frecuencia, duración, etc.). Sin embargo, en la actualidad lo que más interés genera en la comunidad científica es el análisis de los parámetros cualitativos (nivel de desarrollo cognitivo, compromiso emocional, recursos de los que dispone el participante, etc.; Pesce, 2012). Esto ha llevado a formular una nueva hipótesis (i.e. “estimulación cognitiva”) que sugiere que el EF más estimulante para el desarrollo cognitivo podría ser aquel con mayores exigencias cognitivas o mayor desafío cognitivo, es decir, el que se desarrolla en entornos que requieren altas dosis de coordinación o en contextos de interacción motriz muy variables e inciertos, donde se requiere una toma de decisiones continua y

conductas anticipatorias, que a su vez dependen de la identificación de las intenciones de los demás participantes.

Ejercicio físico, funciones ejecutivas y estructuras cerebrales

Dentro de la amplia gama de habilidades cognitivas, se distinguen dos grandes categorías: aquellas que se consideran habilidades cognitivas básicas, es decir, las que reflejan el rendimiento del individuo en los procesos psicológicos básicos, como percepción, atención o memoria, y las habilidades cognitivas de orden superior, conocidas como funciones ejecutivas (FEs). Diamond (2013) distingue entre FEs básicas, como el control inhibitorio, actualización de la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva, y las FEs de alto nivel, tales como razonamiento, planificación y solución de problemas. Esta clasificación ha seguido evolucionando distinguiendo actualmente entre FEs frías (parte cognitiva de la autorregulación) y calientes (componente motivacional y emocional; Holfelder et al., 2020). Hay evidencia de que la mejora asociada al EF es mayor para los procesos cognitivos de orden superior que para los de nivel inferior (Donnelly et al., 2016; Tomporowski et al., 2015). Es más, Pesce et al., (2021) informa que los deportes pueden ser un gran contexto para desarrollar FE calientes y frías, ya que pueden mejorar después de realizar actividades sensoriomotoras, que activan estados emocionales y cognitivos probablemente relacionados con las regiones del cerebro involucradas en las FE calientes y frías. Las estructuras cerebrales que integran los circuitos neuronales encargados de estas funciones se ubican en la zona del córtex prefrontal, que se divide en cuatro regiones: (1) la región dorsal, que participa en la selección y manipulación de información en la memoria de trabajo (D'Esposito et al., 1999); (2) la región ventrolateral, que está relacionada con el control inhibitorio, un componente ejecutivo clave que se refiere a la capacidad de suprimir los procesos cognitivos y motores (Chavan et al., 2015); (3) la región medial, en la que se incluye el cíngulo anterior (ACC) y está involucrada en el control cognitivo, los procesos de regulación emocional, la memoria a largo plazo y el proceso de monitoreo (Botvinick et al., 2004; Richard-Devantoy et al., 2012); y (4) la región orbitofrontal, que se ha observado que regula la planificación del sistema de recompensas (Bechara et al., 1994). Los resultados de estudios con técnicas de neuroimagen (MRI, del inglés Magnetic Resonance Imaging) y conductuales, demuestran que las FEs se desarrollan durante la infancia a un ritmo rápido y durante la

adolescencia a un ritmo más lento (Macedonia y Repetto, 2017), lo que sugiere que esta etapa representa un período de alta plasticidad y por tanto es especialmente sensible al desarrollo, incluyendo los cambios de origen ambiental (Buttelmann y Karbach, 2017). Esto permite pensar que las FEs son habilidades cognitivas generales que podrían ser mejoradas con intervenciones sistemáticas fundamentalmente en edades pre-escolares y escolares (Rueda et al., 2016).

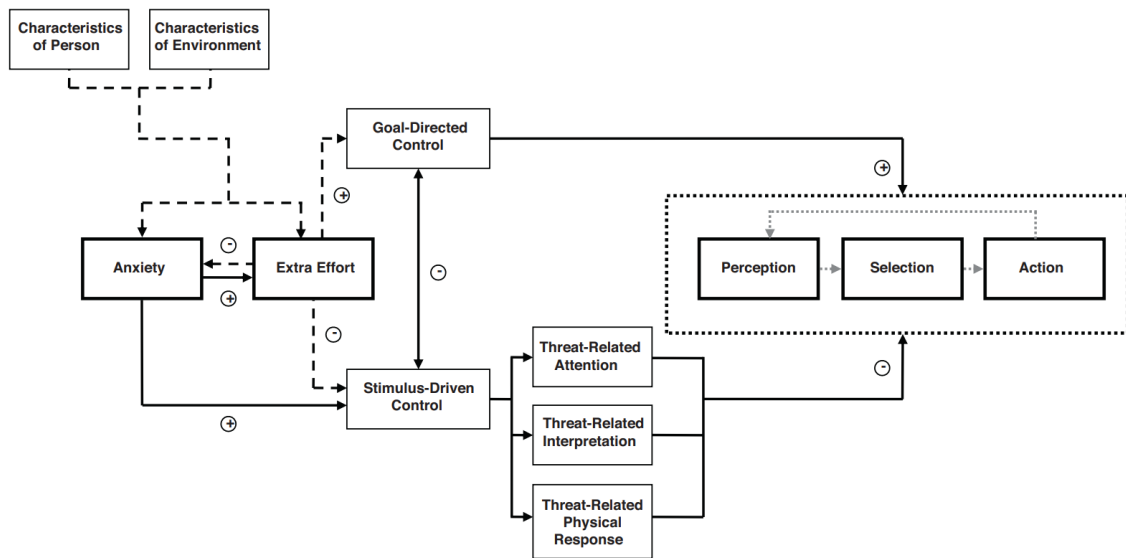
En su gran mayoría, la investigación se ha centrado en el estudio de dichas FEs, fundamentalmente porque se ha comprobado que las habilidades cognitivas básicas tienen poca transferencia más allá de los contextos donde se han desarrollado y, aunque el EF beneficia a ambos tipos de cognición, hay evidencia de que la mejora relacionada con el ejercicio es mayor para el control cognitivo (procesos de orden superior incluyendo la inhibición, la actualización de la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva). En este sentido, se ha constatado que un aumento de los niveles de las FEs correlaciona con una mayor capacidad de autorregulación (Robinson et al., 2016), resolución de conflictos (Landazabal y Berrueco, 2007) o inteligencia fluida (Donnelly et al., 2016). La autorregulación es un indicador de aptitudes socio-emocionales (Rueda et al., 2005; Valiente et al., 2008) y de rendimiento académico en niños (Blair y Razza, 2007; McClelland et al., 2006).

Ejercicio físico y carga mental

En términos generales, el ejercicio aeróbico regular parece ser un buen estímulo para el desencadenamiento de cambios estructurales a nivel neural (Hillman et al., 2008; Thomas et al., 2012) que, en consecuencia, parecen repercutir de manera positiva sobre el rendimiento cognitivo (Acevedo y Ekkekakis, 2006; McMorris et al., 2009; Pereira et al., 2007). Actualmente, meta-análisis muy recientes han mostrado que la combinación de ejercicio aeróbico y de fuerza (i.e. entrenamiento concurrente) produce beneficios más significativos que si ambos tipos de ejercicio se practicaran de manera independiente (Quintero et al., 2018), y que afectan a la atención, procesamiento de la información y FEs (Ludyga et al., 2016).

Igualmente, algunas evidencias muestran que realizar un EF con la presencia de estímulos externos, como por ejemplo a través de juegos que requieran procesar información y emplear la memoria de trabajo para lograr éxito, también puede

contribuir a una mejora en las FEs. En este sentido, el reciente estudio de Müller et al., (2017) concluye que las intervenciones de EF que requieren un constante aprendizaje cognitivo y motor son más eficientes para inducir beneficios en la cognición que las actividades repetitivas y cíclicas que son, de hecho, las más utilizadas en la literatura. Se trata de añadir una carga distinta a la fisiológica, denominada carga mental. Según Cárdenas, Conde y Perales (2015), esta carga tiene dos dimensiones, una de naturaleza puramente cognitiva, y otra emocional. Ciertamente, el peso que tienen las emociones se relaciona significativamente de forma positiva sobre la percepción de la dificultad que tiene la tarea (Ayres, 2006), pues se ha comprobado que una acumulación de errores tiene un coste motivacional que afecta a la voluntad de mantener la inversión de esfuerzo hasta que se alcance una meta (Feldon et al., 2019). En este sentido, Nieuwenhuys y Oudejans (2017) explican en su modelo de ansiedad y desempeño motor-perceptivo (véase debajo) que un individuo con altos niveles de ansiedad consume un esfuerzo mental adicional al asignar más recursos para conseguir: (1) reducir su ansiedad, (2) inhibir los impulsos provocados por estímulos o (3) reforzar el control dirigido a objetivos, reduciendo así una eficiencia operativa, pero, a veces, manteniendo la efectividad del desempeño.



Current Opinion in Psychology

Figura 1. Representación del modelo integrado de ansiedad y desempeño perceptivo-motor (tomado de Nieuwenhuys y Oudejans (Nieuwenhuys y Oudejans, 2012).

En cualquier caso, la carga mental está relacionada con el nivel de entropía de la tarea. Un aumento de la incertidumbre supondría un consumo mayor de recursos atencionales relacionados con la red ejecutiva. Algunos trabajos recientes han utilizado

el tipo de demandas atencionales de la tarea como medidor de la carga mental experimentada por el sujeto (Causse et al., 2017; Shuggi et al., 2017).

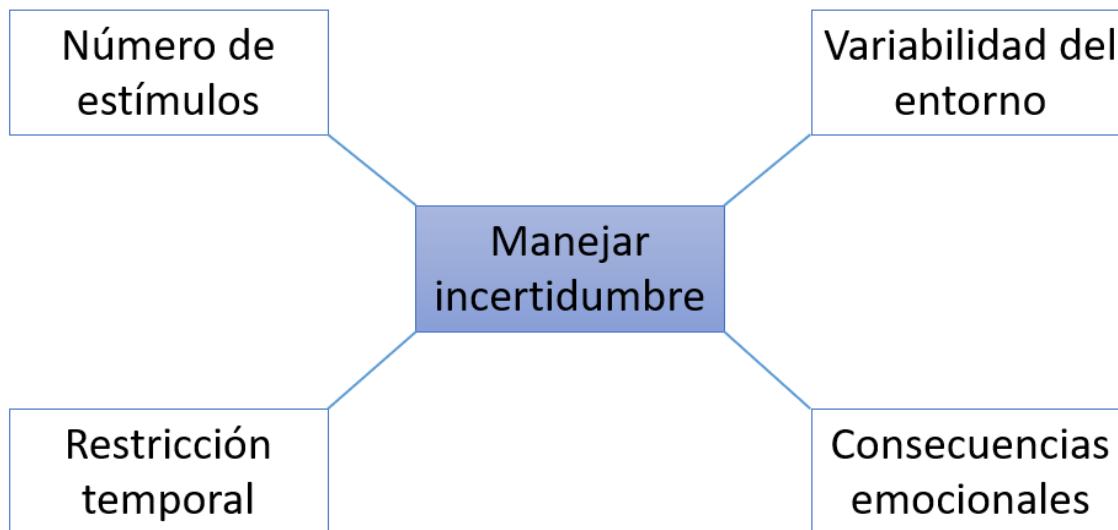


Figura 2. Esquema de los elementos presentes en una tarea para manipular los niveles de incertidumbre, Elaborado a partir de Cortis et al., (2011) y de Cross, Schmitt y Grafton (2007).

Por tanto, parece que podría haber más beneficios cognitivos si el EF se produce en un contexto con implicaciones mentales (Fabel et al., 2009; Fabel y Kempermann, 2008). Las condiciones ambientales del juego o tarea con este tipo de demandas someten a los individuos a un proceso continuo de iniciación, control y flexibilidad de la conducta, lo cual se cree estimula procesos componentes de las FEs (Diamond y Lee, 2011). Por ejemplo, el metaanálisis realizado por Ludyga et al. (2020) con adultos sanos reportó un efecto más significativo sobre las FEs de los ejercicios de coordinación (los cuales tienen requerimientos cognitivos y atencionales). En este sentido, los investigadores consideran que los deportes de equipo dinámicos, como el baloncesto, pueden servir como un excelente contexto para mejorar la cognición (Diamond y Lee, 2011). Las situaciones que se generan en este tipo de deporte son complejas por su gran dinamismo, sus restricciones temporales y el elevado número de estímulos a los que prestar atención, lo que asegura un compromiso mental, y por tanto, estimula las FEs (Cortis et al., 2011). Además, el grado de incertidumbre generado en esta práctica produce una activación considerable de circuitos neuronales y estructuras de la corteza prefrontal relacionados, de nuevo, con las FEs (Cross et al., 2007). Estos deportes

exigen a los atletas, además de un alto esfuerzo físico, prestar atención a un entorno en constante cambio para percibir la información necesaria (e.g., observar los movimientos de compañeros y oponentes) que permita tomar decisiones eficaces y ejecutarlas (Mangine et al., 2014; Moen et al., 2018). Según la teoría de la estimulación cognitiva (mencionada en el último párrafo de la contextualización): la práctica de EF que reta cognitivamente al practicante estimula el desarrollo de las capacidades cognitivas, al tiempo que aprovecha las virtudes atribuibles al propio componente físico del ejercicio. Como consecuencia, no sorprende que los jugadores de élite muestren mejores niveles de FEs en comparación con aficionados o sedentarios (Lundgren et al., 2016). Además, estudios de neuroimagen han demostrado que los niños que practican deportes de equipo tienen un mayor desarrollo en las áreas prefrontales debido a sus requerimientos más profundos de procesamiento de la información (Carey et al., 2005). Sin embargo, muchos estudios en esta área son transversales (es decir, comparan atletas de élite en diferentes niveles con individuos aficionados o sedentarios) por lo que son necesarios más estudios de intervención longitudinales para esclarecer los beneficios de la práctica de estos deportes.

En resumen, puede ser que sólo realizar un EF aeróbico o concurrente (entrenamiento combinado de resistencia y fuerza) no sea igual de estimulante para provocar cambios en las FEs o en estructuras cerebrales que un EF con presencia de carga mental, es decir, cognitivamente estimulante. En este sentido, el reciente estudio de Müller et al. (2017) concluyó que las intervenciones de EF que requieren un aprendizaje cognitivo y motor constante son más eficientes para inducir modificaciones neuroplásticas que las actividades repetitivas y cíclicas. Además, existe evidencia de que la exposición a estas condiciones produce una activación considerable de circuitos neuronales y estructuras del córtex prefrontal, facilitando mucho su desarrollo en comparación con la exposición a contextos con poca o nula interferencia o incertidumbre (Cortis et al., 2011).

Efecto del ejercicio físico sobre el rendimiento deportivo y el paradigma de la doble tarea

En los últimos años han aparecido resultados de investigación que demuestran que el rendimiento deportivo en las modalidades en las que se produce una interacción motriz con compañeros y/o adversarios, (baloncesto, fútbol o voleibol) viene condicionado por el nivel mostrado por los deportistas en las pruebas de evaluación de las FEs (Alarcón et al., 2017; Vestberg et al., 2012). Estos estudios han permitido a sus autores señalar el valor predictivo de las FEs para el desarrollo del talento deportivo y el rendimiento deportivo futuro. No obstante, recientemente este valor está siendo cuestionado a tenor de otros resultados contradictorios indicados en los meta-análisis más recientes (Kalén et al., 2021; Scharfen y Memmert, 2019), justificando la falta de consistencia a la poca especificidad de las pruebas de evaluación de los procesos cognitivos que subyacen al comportamiento motor. La conclusión a la que llegan estos autores es que sólo las evaluaciones que utilicen estímulos específicos del deporte, y no pruebas de función cognitiva generales, pueden predecir el rendimiento deportivo. En cualquier caso, parece coherente pensar que la implementación de propuestas de entrenamiento específicamente orientadas a la mejora de las FEs (e.g. la práctica de EF con carga mental) podría revertir indirectamente en la mejora del rendimiento deportivo. En este contexto de análisis, una de nuestra hipótesis de trabajo es que un proceso de entrenamiento deportivo de esta naturaleza cognitivamente estimulante podría tener una doble utilidad: ayudaría a mejorar las competencias cognitivas y emocionales de alto valor en el contexto educativo y, por otro, ayudarían a los practicantes a mejorar su rendimiento deportivo.

Además, basándonos de nuevo en la “hipótesis de estimulación cognitiva” mencionada anteriormente, la pre-activación de las regiones del cerebro también se vería reflejada en la mejora del rendimiento a corto plazo (efecto agudo) en los deportes de interacción y por tanto aconsejarían el desarrollo de calentamientos específicos para pre-activar esas estructuras cerebrales que garantizan el rendimiento deportivo. Es por ello que otro de los objetivos de este proyecto es analizar en qué medida un aumento de la dimensión emocional como cognitiva de la carga mental, de una tarea física en deportes de colaboración-oposición, pudiera incidir en el rendimiento deportivo posterior.

Uno de los paradigmas más utilizados para ver el efecto de aplicar carga mental sobre el rendimiento deportivo ha sido el de la doble tarea, en la cual el deportista debe realizar la habilidad específica de su deporte mientras se somete a una tarea secundaria que demanda parte de sus recursos atencionales (Gabbett et al., 2011; Koedijker et al., 2008; Mullen et al., 2007). Los resultados muestran un deterioro del rendimiento en los novatos, pero no en los expertos, lo que sugiere que la tarea secundaria no interfiere en la ejecución de la habilidad (Koedijker et al., 2011). El proceso de aprendizaje de las habilidades deportivas específicas en las etapas iniciales requiere atender de manera consciente a las claves del entorno, así como monitorizar y controlar el movimiento (Gentile, 1998). Esta elevada demanda atencional ocupa la mayor parte de los recursos cognitivos del aprendiz. A medida que aumenta el rendimiento, gracias a la acumulación de volumen de práctica, se reduce el control cognitivo como consecuencia de la automatización del acceso a las respuestas correctas (Christensen, 2019).

Por otro lado, hay que tener en cuenta que la carga mental que generan tanto las tareas motoras como las cognitivas en la doble tarea, es el resultado de la contribución de su dimensión cognitiva, pero también de la emocional. La retroalimentación resultante de la realización de la tarea cognitiva o motora cuando se produce un error, genera un estado de discomfort (Cárdenas et al., 2017). Por tanto, influyen también variables como la ansiedad, que se presenta en las competiciones en un constructo multidimensional con componentes cognitivos (Martinet et al., 2010). El control de la ansiedad resulta determinante en el rendimiento deportivo: las teorías de autoobservación sostienen que el deportista que busca rendir correctamente se somete a un nivel de presión que puede llegar a interferir en los gestos que ya están automatizados, causando un deterioro del rendimiento (Beilock y Carr, 2001). Esta teoría sugiere que los deportistas sensibles a la presión pueden cometer más errores cuando le están evaluando su rendimiento (Masaki et al., 2017; véase también la **Figura 1**). Esto permite pensar que los participantes pueden asignar más o menos recursos atencionales a cada una de las tareas en función de las prioridades que se establezcan (Styles, 2010). Esta predisposición está sujeta a factores psicológicos, incluido los volitivos y emocionales (Cárdenas et al., 2015). Si una de las dos tareas genera estados emocionales de valencias muy diferentes, puede incentivar al participante a distribuir sus recursos atencionales hacia la que le resulte más motivante. En ninguno de los antecedentes estudiados se han tenido en cuenta ninguna de estas variables emocionales, por lo que en esta tesis se

presentan dos estudios dedicados a observar el efecto sobre el rendimiento deportivo: uno al hacer una doble tarea, y otro donde sólo exista una carga emocional y no cognitiva.

Efecto agudo del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo e indicadores de rendimiento académico

Los estudios que analizan los efectos agudos (a corto plazo) del EF han encontrado beneficios inmediatamente después del ejercicio, que se prolongan durante 30 - 40 minutos tras el cese de la actividad (Pontifex et al., 2009). Sin embargo, Coles y Tomporowski (2008) no encontraron beneficios sobre la memoria de trabajo. Esta falta de evidencia también ha aparecido con componentes como la inhibición (Konishi et al., 2017) y la flexibilidad cognitiva (Alves et al., 2012). Todo ello ha llevado a la búsqueda de las variables que realmente inciden en las FEs. Como consecuencia ha crecido el interés por el EF con requerimientos cognitivos, como el que tiene lugar en los deportes de equipo, o los juegos de interacción (Esteban-Cornejo et al., 2014), encontrando que la carga mental concomitante al EF genera efectos positivos sobre las FEs (Tomporowski et al., 2015). De nuevo, esta suposición se basa en la “hipótesis de estimulación cognitiva”, que además sugiere que las actividades cognitivamente exigentes pre-activan las mismas regiones del cerebro que se utilizan para controlar procesos cognitivos de orden superior (Best, 2010). Es más, Pesce et al., (2021) sugiere que los deportes pueden ser un gran contexto para desarrollar las capacidades cognitivas porque activan estados emocionales y cognitivos probablemente relacionados con las regiones del cerebro involucradas en las FE calientes y frías, llegándose incluso a encontrar en estudios de encefalografía una mejora en variables relacionadas con la atención (i.e. mayor amplitud en P300, Lind et al., 2019). Esto implicaría que una mayor participación cognitiva durante el EF se podría asociar con un mejor rendimiento cognitivo posterior. Estos hallazgos podrían justificar la necesidad de incluir la educación física en las primeras horas en los centros educativos, la inclusión del recreo activo a través de propuestas de juegos no estructurados (Shim et al., 2001) o el uso de cuñas motrices antes del comienzo de la actividad académica exigente que permitiera optimizar los recursos cognitivos disponibles y, por ende, aumentar el rendimiento académico (Ureña et al., 2020). Sin embargo, volvemos a encontrarnos que no todos coinciden en estos resultados, incluso en las revisiones y estudios más actuales. Por

ejemplo, en inhibición, se han encontrado resultados de mejora (Hepler, 2015; Parkin y Walsh, 2017) y empeoramiento (Tallent et al., 2017) en intervenciones de deportes abiertos (Ureña et al., 2020). Asimismo, ninguno de los estudios que investigan la influencia de la carga cognitiva inherente al EF ha revelado efectos sobre la flexibilidad cognitiva. En cuanto a la actualización o la inhibición, tenemos tanto resultados beneficiosos (Budde et al., 2008), como nulos (Best, 2012).

Teniendo en cuenta estos resultados contradictorios, sacar conclusiones definitivas sobre el efecto agudo de la carga cognitiva inherente al EF en las funciones ejecutivas es casi imposible (Benzing et al., 2016). Aunque lo que sí podemos asumir, tal y como se ha mencionado en el apartado anterior, es que el efecto que puede causar el EF sobre las FEs radica, especialmente, en el tipo de EF realizado, siendo más beneficioso el que se deriva de la manipulación de las variables contextuales de las tareas. Además, los procesos de orden superior que gobiernan el comportamiento dirigido a objetivos en entornos cambiantes (como el control cognitivo) pueden beneficiarse de aumentos en los niveles de activación (Erickson et al., 2015). Así que, dado que la práctica deportiva implica EF y mayor o menor compromiso cognitivo y cambios ambientales, se podría suponer que quienes obtienen beneficios cognitivos de su práctica se encuentran en el nivel de activación moderada. Por lo tanto, considerando que este nivel es dependiente de la persona, se requeriría un grado de estimulación óptimo, de acuerdo con la capacidad adaptativa individual, para lograr beneficios cognitivos al realizar actividades deportivas.

Efecto crónico del ejercicio físico sobre el rendimiento cognitivo e indicadores de rendimiento académico

Por otro lado, la literatura científica que tiene como objetivo analizar los efectos crónicos (a largo plazo) del EF sobre las FEs es muy extensa pero, según las revisiones más recientes (Diamond, 2015; Donnelly et al., 2016), son muy pocos los estudios con la suficiente calidad metodológica para asumir relaciones de causalidad. De los estudios analizados por estas revisiones solo en 7 se encontraron algún beneficio cognitivo en los cuales usan algún tipo de programa estandarizado en el que se incluyen diversas maneras de realizar EF, pasando desde el uso de recreos activos en el colegio, juegos motores, deportes de equipo o juegos de colaboración. Por tanto, estos programas

implican un EF que, en menor o mayor medida, tiene una implicación mental. Así, por ejemplo, en el estudio de Martín-Martínez et al., (2015), 8 semanas de intervención a través de tareas con alto nivel de incertidumbre, basadas en juegos de tamaño reducido, propios de deportes de interacción motriz, encontraron incrementos significativos en la memoria de trabajo y flexibilidad cognitiva en un grupo de adolescentes de 15 años. Además, existe evidencia de que la exposición a este tipo de condiciones produce una considerable activación de circuitos neuronales y estructuras del córtex prefrontal, relacionadas con las FEs, facilitando en gran medida su desarrollo en comparación con la exposición a contextos carentes o nulos de interferencia o incertidumbre (Cross et al., 2007). Asimismo, en las revisiones y meta-análisis más actuales que buscan diferencias entre distintos tipos de deportes (aunque es mayor el número de estudios transversales que los de intervención), existe una evidencia consistente de que la cognición de alto nivel es mayor en atletas experimentados en deportes de habilidad abierta (los atletas juegan en ambientes variables e impredecibles, (Gu et al., 2019; Lo et al., 2019) que en deportes de habilidad cerrada (los atletas tienen condiciones más consistentes, Koch y Krenn, 2021).

Este efecto puede venir explicado por posibles cambios en la estructura cerebral. De hecho, los estudios de MRI también han mostrado el efecto crónico del EF sobre el funcionamiento y estructura cerebral. Colcombe et al. (2004, 2006) observaron que las mejoras en el nivel de condición física fruto de un entrenamiento de EF se relacionaron con un mayor volumen de materia gris y blanca (Gordon et al., 2008; Marks et al., 2007). En el estudio con adultos mayores de Erickson et al. (Erickson et al., 2011), se evidenció un aumento del volumen del hipocampo tras un año de entrenamiento aeróbico regular, mientras que en el grupo control hubo una reducción del volumen. Además, se ha demostrado que existe una correlación entre el volumen del hipocampo (Erickson et al., 2009), los ganglios basales (Chaddock et al., 2010) y el nivel de condición física de los participantes. Pereira et al. (Pereira et al., 2007), en un estudio de 3 meses de entrenamiento con participantes de mediana edad, mostraron incrementos en medidas de volumen sanguíneo cerebral en el hipocampo, que fueron asociados al nivel de condición física y función cognitiva.

Los estudios con animales ayudan a esclarecer los cambios a nivel molecular y celular que parecen ser la base del efecto crónico del EF sobre el rendimiento cognitivo, algo que en humanos únicamente puede ser examinado o inferido de

manera indirecta. En este sentido, se ha comprobado que el EF estimula la neurogénesis (incremento del número de neuronas) que suele ir acompañado del crecimiento de nuevos capilares sanguíneos (angiogénesis) y el aumento del aporte de nutrientes y energía en áreas neurales como el córtex, cerebelo e hipocampo (Brown et al., 2003; Chaddock et al., 2011; Griesbach et al., 2009; Lopez-Lopez et al., 2004; Pontifex et al., 2011; Thomas et al., 2012). Varios de los estudios con animales también han identificado diversas proteínas que podrían estar mediando en los efectos del EF sobre la estructura cerebral. Las dos que han recibido el mayor apoyo empírico han sido BDNF (del inglés *brain-derived neurotrophic factor*) e IGF-1 (del inglés *insulin-like growth factor-1*; (Voss et al., 2011). Se ha comprobado que intervenciones de ejercicio aeróbico producen un aumento en la producción de ambas (Carro et al., 2001; Ding et al., 2006; Trejo et al., 2001) y están implicadas en la formación y desarrollo de capilares sanguíneos (Lopez-Lopez et al., 2004), potenciando a largo plazo el crecimiento y protección de nuevas neuronas.

No obstante, varias cuestiones importantes emergen constantemente de estas revisiones. Los revisores que emplean meta-análisis indican que la fuerza de la relación disminuye a medida que aumenta la calidad metodológica, y además está moderada por múltiples factores (Sibley y Etnier, 2003). Estas variables moderadoras incluyen algunas características del individuo, como su condición física de partida, o el nivel inicial en sus FEs. Además, existen otras variables analizadas cuando se realizan entrenamientos solamente cognitivos que han resultado determinantes para conseguir las mejoras esperadas y que, en cambio, no han sido tenidas en cuenta cuando se ha usado el EF, como los rasgos de personalidad de los participantes (el temperamento), o variables ambientales, como el tipo de crianza o el estatus socio-económico familiar (Rueda et al., 2016).

Hipótesis y justificación

El principal enfoque de investigación desarrollado hasta la actualidad se ha centrado fundamentalmente en determinar la dosis adecuada de EF atendiendo a variables cuantitativas, sin que esto haya ayudado a esclarecer si la práctica de EF tiene realmente beneficios cognitivos, ni a determinar, en los casos en que se haya comprobado una mejora, cuáles son las verdaderas claves a tener en cuenta. El problema es la escasez de estudios con rigor metodológico que permitan establecer conclusiones válidas sobre qué

características del EF tienen una mayor incidencia, no solo en el rendimiento cognitivo y desarrollo de las estructuras cerebrales, sino en variables con mayor transferencia a contextos reales, como el educativo y el deportivo. Controlando las variables moderadoras mencionadas, el presente trabajo pretende esclarecer si, por un lado, el EF con presencia de carga mental realmente incrementa los recursos cognitivos, mediante la pre-activación de las regiones del cerebro, a corto plazo (efecto agudo) manifestándose en un mejor rendimiento deportivo en jugadores expertos que realizan una ejecución motriz automatizada. Por otro lado, provoca cambios funcionales y estructurales a largo plazo (efecto crónico), para lo cual partiremos de la hipótesis de que un programa de intervención basado en la práctica de EF con interacción de demandas físicas y cognitivas, propias de los deportes de colaboración-oposición como el baloncesto, resultará más beneficioso en comparación con otros entrenamientos como el del EF mediante habilidades cíclicas. La investigación desarrollada hasta el momento avala la práctica prolongada en el tiempo como realmente eficiente para conseguir efectos duraderos sobre diferentes estructuras y funciones cerebrales (Erickson et al., 2011).

Asimismo, también se pretende comprobar si el efecto crónico observado tiene su base en posibles cambios estructurales del cerebro como consecuencia de la interacción de las demandas físicas y mentales que afrontan los participantes en entornos con diferentes niveles de entropía. Para ello se utilizarán técnicas de neuroimagen (mediante resonancia magnética) y una evaluación de las funciones cognitivas que también son moderadoras del efecto del EF sobre el rendimiento académico. Por tanto, la hipótesis de trabajo es que un proceso de entrenamiento deportivo de esta naturaleza mentalmente estimulante podría provocar cambios estructurales del cerebro que contribuyeran a mejorar las competencias cognitivas de alto valor tanto en el contexto educativo como el deportivo.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS/AIMS

CAPÍTULO II. OBJETIVOS/AIMS

En esta Tesis Doctoral Internacional se pretende observar el efecto agudo de distintas manipulaciones de la carga mental sobre el rendimiento deportivo (atendiendo a su doble dimensión cognitivo-emocional) en jugadores expertos de baloncesto y fútbol. Asimismo, se pretende comprobar si dicha manipulación de la carga mental puede producir un efecto crónico en el rendimiento cognitivo (relacionado con las FEs) y, además, provocar cambios estructurales en una muestra de jóvenes universitarios con un nivel bajo de hábitos de EF. Para ello, se diseñarán tres estudios:

Estudio 1

Explorar el efecto agudo de la manipulación de la carga externa de la tarea a nivel emocional y cognitivo, a través del paradigma de la doble tarea, sobre el rendimiento deportivo en jugadores expertos en fútbol.

Estudio 2

Comprobar el efecto agudo de manipular la carga emocional de tareas físicas sobre el rendimiento deportivo en jugadores expertos en baloncesto.

Estudio 3

1. Comprobar el efecto crónico de un entrenamiento de 4 meses en el que se manipula la carga mental del EF a través del nivel de incertidumbre presente en la tarea sobre el rendimiento cognitivo, específicamente en las FEs claves en la toma de decisiones e indicadores de rendimiento académico, en jóvenes universitarios.
2. Comprobar si tras el periodo de entrenamiento se observan cambios estructurales del cerebro de los participantes, en concreto en la zona del córtex prefrontal.

CAPÍTULO II. OBJETIVOS/AIMS

This International Doctoral Thesis aims to observe the acute effect of different mental load manipulations on sports performance (taking into account its dual cognitive-emotional dimension) in expert basketball and soccer players. Additionally, it aims to verify whether this manipulation of mental load can produce a chronic effect on cognitive performance (related to EFs) and also provoke structural changes in a sample of young university students with a low level of EF habits. To achieve this, three studies will be designed:

Study 1

To explore the acute effect of manipulation of external load of task on emotional and cognitive levels, through dual-task paradigm, on sports performance in expert soccer players.

Study 2

To examine the acute effect of manipulating emotional load of physical tasks on sports performance in expert basketball players.

Study 3

1. To check the chronic effect of a 4-month training program in which EF mental load is manipulated through the level of uncertainty present in the task on cognitive performance, specifically on key EFs for decision-making and indicators of academic performance in young university students.

2. To observe whether structural changes in the brain of participants are observed after the training period, specifically in the prefrontal cortex area.

CAPÍTULO III: EFECTO DEL EJERCICIO FÍSICO SOBRE EL RENDIMIENTO DEPORTIVO

CAPÍTULO III: EFECTO DEL EJERCICIO FÍSICO SOBRE EL RENDIMIENTO DEPORTIVO

Estudio 1. La carga mental deteriora la precisión del pase en jugadores de fútbol

Introducción

El proceso de aprendizaje de las habilidades deportivas específicas en las etapas iniciales requiere atender de manera consciente a las claves del entorno así como monitorizar y controlar el movimiento (Gentile, 1998). Esta elevada demanda atencional ocupa la mayor parte de los recursos cognitivos del aprendiz. A medida que aumenta el rendimiento, gracias a la acumulación de volumen de práctica, se reduce el control cognitivo como consecuencia de la automatización del acceso a las respuestas correctas. Una vez automatizada la habilidad motora, el pensamiento y control atencional consciente parecen reducir su eficacia. De esta manera, para los expertos ya no sería necesario una atención consciente en la preparación y control de los movimientos (Beilock et al., 2002). Esta visión sobre la adquisición de las habilidades se ha utilizado para realizar predicciones sobre las diferencias entre deportistas novatos y expertos en la calidad del movimiento, a través de manipular el grado de atención. (e.g., Castaneda y Gray, 2007; Jackson et al., 2006). Beilock, et al., (2004) encontraron que alejar la atención de la ejecución era una estrategia beneficiosa para los expertos, pero no para los novatos. En cambio, se producía el efecto contrario cuando se manipulaba la atención para que se centrara en el proceso del movimiento, siendo ahora los expertos los que se veían perjudicados.

Uno de los paradigmas más utilizados para distraer la atención ha sido el uso de la doble tarea, en la cual el deportista debe realizar la habilidad específica de su deporte mientras se somete a una tarea secundaria que le ocupa parte de sus recursos atencionales (Gabbett et al., 2011; Koedijker et al., 2008; Mullen et al., 2007). Los resultados muestran un deterioro del rendimiento en los novatos, pero no en los expertos, lo que sugiere que la tarea secundaria no interfiere en la ejecución de la habilidad (Koedijker et al., 2011).

La no verificación del grado de la carga mental ni su control en los estudios previos supone un problema (Oppenheimer et al., 2009). Según Cárdenas, Conde y Perales (2015), la definición de carga mental está relacionada con el nivel de entropía de la tarea. Un aumento de la incertidumbre supondría unos mayores consumos de recursos atencionales relacionados con la red ejecutiva. Algunos trabajos recientes han utilizado el tipo de demandas atencionales de la tarea como medidor de la carga mental experimentada por el sujeto (Causse et al., 2017; Shuggi et al., 2017). Las tareas cognitivas secundarias a las que han sido expuestos los deportistas, aun ocupando parte de los recursos de la memoria de trabajo, son tareas que, en su gran mayoría, utilizan la atención de alerta o de orientación, pero no necesitan de la red atencional ejecutiva.

Otro de los problemas de los estudios realizados hasta el momento es que no siempre se ha controlado el rendimiento de los participantes en la tarea secundaria. Según Schaefer (Schaefer, 2014), en condiciones de doble tarea, cuando el rendimiento en una de ellas se deteriora mucho con respecto al de la otra, los sujetos pueden producir compensaciones, distribuyendo más recursos atencionales a la tarea en la que su rendimiento se está viendo deteriorado. Influye también la ansiedad, que se presenta en las competiciones en un constructo multidimensional con componentes cognitivos (Martinet et al., 2010). El control de la ansiedad resulta determinante en el rendimiento deportivo: las teorías de autoobservación sostienen que el deportista que busca rendir correctamente se somete a un nivel de presión que puede llegar a interferir en los gestos que ya están automatizados, causando un deterioro del rendimiento (Beilock y Carr, 2001). Esta teoría sugiere que los deportistas sensibles a la presión pueden cometer más errores cuando le están evaluando su rendimiento (Masaki et al., 2017). Esto permite pensar que los participantes pueden asignar más o menos recursos atencionales a cada una de las tareas en función de las prioridades que se establezcan (Styles, 2010). Esta predisposición está sujeta a factores psicológicos, incluido los volitivos y emocionales (Cárdenas et al., 2015). Si una de las dos tareas genera estados emocionales de valencias muy diferentes, puede incentivar al participante a distribuir sus recursos atencionales hacia la que le resulte más motivante. Por otro lado, hay que tener en cuenta que la carga mental que generan, tanto las tareas motoras como las cognitivas en la doble tarea, es el resultado de la contribución de su dimensión cognitiva, pero también de la emocional. La retroalimentación resultante de la realización de la tarea cognitiva o motora cuando se produce un error, genera un estado de discomfort (Cárdenas et al.,

2017). En ninguno de los antecedentes estudiados se han tenido en cuenta ninguna de estas variables emocionales.

Por último, el enfoque utilizado hasta ahora tiene poco valor ecológico. Los deportistas deben soportar esfuerzos físicos y mentales de manera simultánea. Un aumento de las demandas físicas de la tarea puede influir en el rendimiento motor. Además, habría que tener en cuenta la interacción entre ambos esfuerzos. La “hipótesis de la estimulación cognitiva”, sugiere que el EF cognitivamente exigente pre-activa las mismas regiones del cerebro que se utilizan para controlar procesos cognitivos de orden superior (Best y Miller, 2010). Esto podría facilitar la atención ejecutiva del participante y tener un efecto positivo en la ejecución de tareas motoras. Esta interacción de la carga física y mental, propia de las situaciones deportivas, no se ha tenido en cuenta hasta ahora para analizar su influencia en el rendimiento motor.

La ausencia de estudios experimentales que controlen los distintos factores que influyen en la interacción entre demandas físicas, cognitivas y motoras durante la práctica deportiva, hace imposible llegar a conclusiones válidas. El propósito de este trabajo es avanzar en el estudio de la relación entre la carga mental y física durante las acciones deportivas y en cómo esta interacción influye en el rendimiento deportivo en habilidades que requieren precisión, como el pase en fútbol, teniendo controladas aquellas variables de naturaleza emocional que pudieran estar mediando en dicha relación.

Método

Participantes

Veintiocho futbolistas semiprofesionales masculinos que militan en el UCAM Murcia C.F.B., de tercera división, al finalizar la temporada, participaron voluntariamente en el estudio [edad media = 20.07 años (± 0.23); años experiencia federados = 12.6 ± 0.75 años; IMC media = $23.06 (\pm 0.15)$; porteros = tres; defensas = nueve; centrocampistas = siete; delanteros = nueve; estudios obligatorios = seis; bachillerato/FP = cinco; universitarios = 17].

Instrumentos

Carga mental

Para la evaluación de la carga mental percibida por cada participante en la tarea, se utilizó el cuestionario NASA-TLX (Hart y Staveland, 1988). Esta escala tiene en cuenta seis dimensiones: actividad mental (esfuerzo mental y perceptivo), actividad física (grado de implicación física), actividad temporal (presión percibida relacionada con la velocidad para tomar decisiones), ejecución/resultado (percepción del grado de éxito conseguido), esfuerzo (combinación de esfuerzo mental y físico necesario) y frustración (emociones negativas percibidas). Asimismo, se puede obtener una medida global de la carga mental considerando la media de las seis dimensiones.

En esta escala, el participante tuvo que marcar con una “X” la puntuación correspondiente a cada dimensión, compuesta por veinte espacios en blanco con un valor de cinco puntos, lo que supone un total de cien puntos por dimensión. La gradación de la escala parte de una valoración “baja” y termina en “alta”, siendo el sentido de la escala el opuesto en la dimensión “ejecución/resultado”, es decir, que parte de “buena” y termina en “mala”.

Estado emocional

Para medir la respuesta emocional se utilizó la versión española de la escala Self-assessment manikin (SAM; Bradley y Lang, 1994). Se trata de una escala de autoinforme en la que se les pide a los participantes que evalúen su propio estado emocional, provocado por algún evento ambiental, en tres dimensiones: Valencia, Activación y Dominio. Solo se usaron en este experimento las escalas de Valencia y Activación. La consistencia interna de la escala fue $\alpha = .875$ para la Activación y $\alpha = .885$ para la Valencia.

La respuesta se refleja en la elección de uno de los 5 iconos que se muestran horizontalmente en una hoja (o el punto intermedio entre dos de ellos). Los íconos representan estados emocionales progresivos (de baja a alta excitación y de valencia negativa a positiva). La respuesta se codifica como un valor entre 1 y 9.

Grado de ansiedad

Con el objetivo de medir la ansiedad, se utilizó la versión española del State-Trait Anxiety Inventory (STAI; Spielberger et al., 1982). Esta versión sigue siendo considerada como adecuada (Guillén-Riquelmeé y Buela-Casal, 2011). Se compone de

dos dimensiones: (1) ansiedad rasgo, siendo la ansiedad que define la personalidad del participante; (2) y ansiedad estado, que se define por el grado de ansiedad que tiene el participante en ese momento. En este estudio, la ansiedad estado se evaluó antes y después de la tarea.

Consiste en una escala de tipo Likert de 0 (casi nunca) hasta 3 (casi siempre) en el caso de la ansiedad rasgo y de 0 (nada) a 3 (mucho) en el caso de la ansiedad estado. Ambos están compuestos de veinte ítems cada uno [ej.: “me siento bien” (ansiedad rasgo); “me siento calmado” (ansiedad estado)].

Diseño y procedimiento

Se ha optado por un diseño intrasujeto contrabalanceado con medidas repetidas sobre dos condiciones, una física específica de fútbol con carga mental (CM) y otra similar pero en ausencia de CM (ACM).

Los participantes realizaron una tarea que consistió en recorrer los lados de un cuadrado de 12x12m. En cada vértice el participante debía pararse y esperar una señal acústica que le indicaba un nuevo desplazamiento. Durante la tarea se alternaban sprints de 12 metros, desplazamientos al trote y pases. El balón debía lograr pasar por un espacio de 1 metro delimitado por dos conos, y a una distancia del participante de 10 metros. La tarea tuvo una duración de 9 minutos, dividida en tres periodos de tres minutos. El tiempo de descanso entre periodo fue el necesario para aplicar las escalas, tiempo que no superaba los 2 minutos. Durante cada periodo el participante realizaba 10 pases y 10 sprints.

En la condición ACM, tras el sprint el participante tenía libertad para elegir entre desplazarse trotando a su derecha o izquierda. Esta elección se repetía en el siguiente vértice del cuadrado, antes de volver a realizar el pase. Durante la condición CM, se cambió la señal acústica por la tarea n-back: se le muestra una secuencia numérica aleatorizada de tres dígitos al participante el cual debía recordar los dos dígitos anteriores al que se le presentaba en ese momento. Si el número presentado coincidía con el de dos posiciones anteriores, el participante debía pasar el balón a través de la puerta de la derecha; de lo contrario debía hacerlo por la puerta de la izquierda. Este procedimiento se repetía en cada vértice del cuadrado. Dicha tarea obliga al participante mantener y actualizar constantemente la información en la memoria de trabajo, ocupando parte de los recursos de atención ejecutiva (Owen et al., 2005). Además, el

participante recibía de manera inmediata feedback sobre la adecuación de su decisión y del error en la precisión en el pase, aumentando la carga emocional de la tarea.

Este estudio cuenta con la aprobación del comité de ética de la Universidad Católica San Antonio de Murcia. Asimismo, los participantes firmaron el consentimiento informado en conformidad con la regulación establecida en la Declaración de Helsinki (2013).

Análisis estadístico

Se ha realizado una agrupación de datos de las variables del estudio para toda la muestra. Para observar la influencia de la presencia de carga mental en la precisión del pase y, por otro lado, comprobar si la tarea con más implicación cognitiva provocaba carga mental, se realizó un t-test de muestras apareadas. Asimismo, para analizar la precisión del pase y el nivel de frustración percibido por el jugador entre las tres series de las que se componía la tarea, diferenciando las dos condiciones experimentales, se realizó un ANOVA de medidas repetidas de dos factores (condición experimental x serie). Por último, se ha utilizado el análisis de correlaciones, diferenciando entre las dos condiciones experimentales, con el objetivo de observar la relación entre la precisión del pase y: (1) nivel de frustración; (2) estado emocional; (3) ansiedad rasgo y estado.

El nivel de significación fue establecido al .05, y se han corregido por Bonferroni los resultados de las correlaciones. Para medir el tamaño del efecto, la d de Cohen fue utilizada para el análisis de muestras apareadas y η para el ANOVA de medidas repetidas. Para la elaboración del análisis estadístico se ha usado el paquete JASP (versión 0.8.5.1).

Resultados

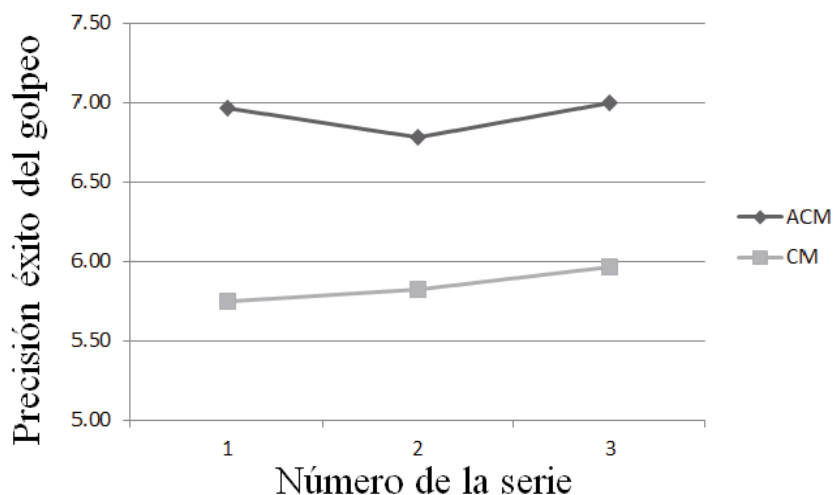
En la **Tabla 1** se muestran las medias, desviaciones típicas, valores mínimos y máximos; y el 95% del intervalo de confianza para la media de cada variable del estudio. El test de Shapiro-Wilk no indicó una violación de la normalidad para las variables de interés, excepto para las de Valencia y Activación en ambas condiciones.

Tabla 1. Agrupación datos descriptivos de las variables del estudio.

Variable (total)	Condición experimental							
	No aplicar carga mental				Aplicar carga mental			
	Media	Desv. Típ.	95% Intervalo Confianza		Media	Desv. Típ.	95% Intervalo Confianza	
			Mínimo	Máximo			Mínimo	Máximo
Valencia	6.33	1.79	5.63	7.02	5.38	1.59	4.76	5.99
Activación	5.167	1.60	4.54	5.79	6.02	1.40	5.48	6.56
Actividad mental NASA	43.75	20.62	35.75	51.74	70.59	14.41	64.99	76.17
Actividad física NASA	50.65	13.79	45.30	56.01	50.95	12.57	46.07	55.82
Dimensión temporal NASA	44.40	10.83	40.20	48.60	56.31	11.07	52.01	60.60
Ejecución y resultado NASA	62.85	16.14	56.59	69.11	56.48	15.92	50.30	62.66
Esfuerzo NASA	49.64	13.57	44.38	54.91	54.88	14.83	49.13	60.64
Nivel frustración NASA	36.31	15.73	30.21	42.41	58.15	17.90	51.21	65.09
NASA puntuación global	47.93	10.55	43.84	52.02	60.96	8.06	57.84	64.09
Precisión pase	20.75	3.84	19.26	22.24	17.54	3.203	16.29	18.78

Nota: Desv. Típ.: Desviación típica; valencia y activación son las variables de carga emocional extraídos del cuestionario SAM; la carga mental subjetiva medida a través del cuestionario NASA; precisión pase: veces que el balón pasa entre los conos.

Los resultados globales del NASA-TLX de las dos condiciones experimentales se sometieron a un análisis de muestras apareadas ($t = -6.03$; $p < .001$; $d = -1.14$). La **Figura 3** muestra la diferencia significativa de precisión entre las dos condiciones ($t = 3.844$; $p < .001$; $d = 0.726$).

**Figura 3.** Precisión del golpeo en las 3 series diferenciado en las dos condiciones experimentales.

El análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos factores (condición experimental x serie) mostraron los siguientes resultados. En el caso de la precisión del pase, se observaron diferencias significativas entre condiciones experimentales ($F(1, 27) = 14.773$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.354$) pero no entre series dentro de la misma condición experimental ($F(2, 54) = 0.189$; $p = .828$). En el caso del nivel de

frustración percibido por el jugador, se mostraron diferencias significativas entre condiciones experimentales ($F(1, 27) = 54.601$; $p < .001$; $\eta^2 = 0.669$) y no entre series de la misma condición ($F(2, 54) = 1.30$; $p = .281$). Por último, no hubo diferencias significativas en la ansiedad estado entre las condiciones experimentales ($F(1, 27) = 0.044$; $p = .836$). Estos resultados están representados en la **Figura 4**.

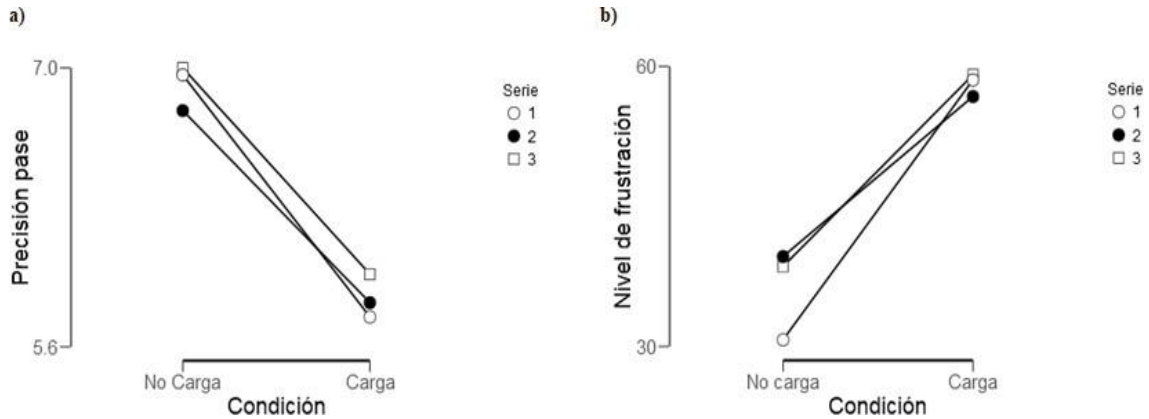


Figura 4. Análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos factores (condición experimental x serie) en: (a) precisión del pase y (b) nivel de frustración percibido por el jugador obtenido mediante el cuestionario NASA-TLX.

Las correlaciones referentes a la posible relación entre el nivel de frustración y la precisión del pase no muestran una asociación salvo en la tercera serie de la condición CM ($r = -0.419$; $p = .026$ corregido por Bonferroni). La **Figura 5** muestra el resultado de la regresión lineal entre ambas variables (r^2 ajustada = 0.144; $p = .026$).

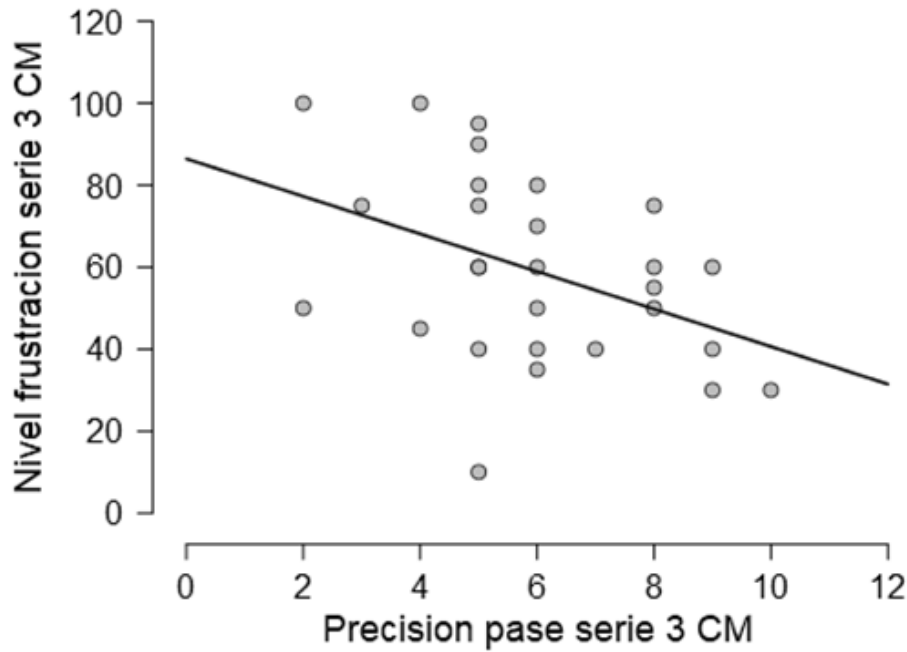


Figura 5. Regresión lineal entre nivel de frustración obtenido a través del cuestionario NASA TLX y precisión del pase en la tercera serie de la condición en la que se aplicó carga mental.

Asimismo, el análisis de la relación entre la precisión del pase y el estado emocional muestra una asociación positiva para la Valencia, en la serie 1 ($\rho = 0.447$; $p = .017$) y 3 ($\rho = 0.422$; $p = .025$) en la condición ACM. Sin embargo, en el caso de la activación no se muestran asociaciones significativas. Referente al análisis entre ansiedad y precisión del pase, en el caso de la dimensión ansiedad rasgo no se han encontrado asociaciones significativas. En cambio, en el caso de la dimensión ansiedad estado, sí se encontraron asociaciones significativas en la condición CM: la medida post se asocia negativamente con el grado de precisión obtenido en la serie 3 ($r = -0.551$; $p = .002$ corregido por Bonferroni). La **Figura 6** representa el resultado de la regresión del primer análisis (r^2 ajustada = 0.277; $p = .002$).

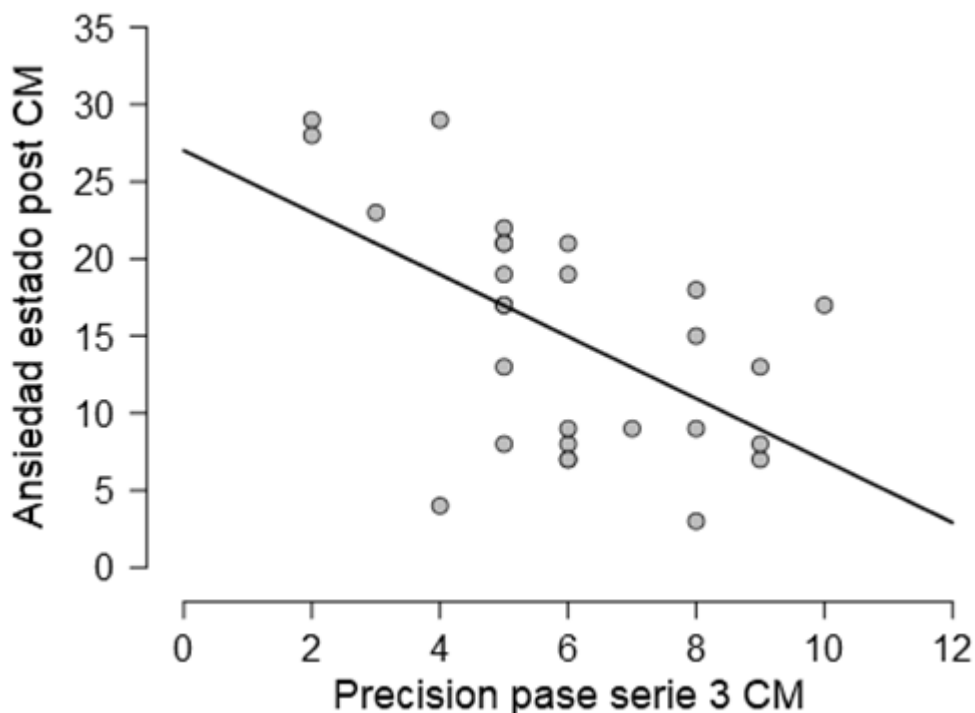


Figura 6. Regresión lineal entre ansiedad estado y precisión del pase en la serie 3 en la condición con carga mental.

Discusión

El objetivo de este estudio fue analizar el efecto de la carga mental en la precisión del pase de jugadores de fútbol durante la realización de una tarea con exigencias físicas similares a la competición. La carga mental experimentada por los jugadores durante la condición CM fue significativamente mayor que en la condición ACM. Este hecho verifica la manipulación exitosa de la carga mental en el experimento, algo que no se había realizado hasta ahora. Esta diferente carga mental entre las tareas provocó que los participantes bajasen su rendimiento en la precisión del pase. Fuera del ámbito deportivo, Diekfuss, Ward y Raisbeck (2017), tras comprobar la carga mental experimentada con la escala NASA-TLX en condiciones de doble tarea de disparos de precisión con armas, al igual que en el ámbito deportivo encontraron que los participantes de mayor nivel de pericia rendían peor si la tarea secundaria obligaba a pensar sobre la ejecución. La justificación de estos resultados empleada en estudios recientes es que los expertos sufren un deterioro en su rendimiento cuando su atención tiene que centrarse en la ejecución, por la imposibilidad de utilizar el modo de procesamiento automático (Oberauer, 2018). En el caso de que la tarea secundaria no se

centrara en la ejecución, la realización de la habilidad específica no le supondría esfuerzo, y por tanto no generaría carga mental. Esto ha permitido pensar que los expertos no se veían perjudicados en el paradigma de la doble tarea (Koedijker et al., 2011). En cambio, Diekfuss et al. (2017) encontraron un aumento de la carga mental experimentada por los más habilidosos durante la doble tarea, independientemente del tipo de tarea secundaria realizada. Además, este incremento explicaba, en parte, el deterioro del rendimiento. Esto abre la puerta a pensar que los expertos, aun teniendo un control automático de la habilidad específica, necesitan utilizar recursos atencionales para poder ejecutarla. En el presente estudio los participantes poseían suficiente experiencia y un elevado nivel de pericia, que les debería haber permitido un procesamiento automático del pase, lo cual no impidió que su rendimiento se deteriorara en la doble tarea. A diferencia de la mayoría de los estudios antecedentes, en los cuales no se encontraron efectos negativos de la doble tarea para los expertos, en el presente se controló la naturaleza y magnitud de la carga mental. Al usar la tarea 2-back, los participantes estuvieron sometidos a una carga mental moderadamente exigente (Owen et al., 2005), como reflejan los resultados de la evaluación con la escala NASA-TLX. Las diferencias encontradas aquí con respecto a los antecedentes pueden venir justificadas por la diferente magnitud de la carga mental resultante. En los estudios previos pudo ser insuficiente y no suponer un conflicto con la tarea secundaria. En cambio, la magnitud elegida no supuso un coste en el tiempo dado que el rendimiento en ambas tareas, motor y cognitivo, se mantuvo estable en las tres series. Los datos muestran una tendencia a aumentar el rendimiento en la tarea motora a medida que transcurría la prueba, a pesar de acumular fatiga física y mental, variables que afectan al rendimiento técnico y táctico en los deportes (J. Head et al., 2017). El efecto inmediato que tuvo la carga mental en el rendimiento del pase permite pensar que los participantes resolvieron el conflicto entre las dos tareas dándole prioridad a la cognitiva. La consecuencia fue un deterioro en la precisión.

Para evitar esto, el jugador pudo modificar esta prioridad, distribuyendo más recursos atencionales a la ejecución del pase. Los participantes del estudio no sabían cuáles eran las condiciones de la prueba, con lo que, en un primer momento, con independencia de su nivel de automatización en la habilidad de pasar, necesitarían recursos atencionales para ajustar su ejecución a las demandas específicas de distancia y precisión de la prueba. Como descubrió Neuman (1984), los procesos automáticos no

son inflexibles, y dependen de las demandas de la tarea, de hacia dónde se dirija la atención y de las estrategias empleadas. Aunque la práctica puede desarrollar habilidades que especifican los parámetros de las acciones, cuando éstas no proporcionen una especificación suficiente, se necesitará más o menos control atencional (Styles, 2010). Por otro lado, este control atencional, ejercido por la red neuronal ejecutiva, permite el control de las metas en una tarea (Tirapu-Ustarroz et al., 2005). Durante la tarea 2-back, el participante debe actualizar y manipular constantemente la información en la memoria de trabajo. El hecho de que estos recursos estuvieran ocupados en la tarea cognitiva, como así lo demuestra la tasa de errores en la toma de decisiones, pudo impedir un uso adecuado del feedback de la ejecución del pase, necesario para ajustar la ejecución tanto intra como inter ensayos, algo fundamental en tareas de precisión, aunque éstas estén automatizadas (Sevrez y Bourdin, 2015).

Las tareas secundarias utilizadas en los estudios previos tampoco han tenido en cuenta ni la naturaleza de la carga mental ni el tipo de recursos que se utiliza en la tarea motora primaria. Hay que tener en cuenta que la interferencia aparece cuando las dos tareas aprovechan los mismos recursos cognitivos y sensoriomotores (Maes et al., 2015) y que muchas de las tareas utilizadas hasta ahora no requieren de la atención ejecutiva por lo que, en realidad, no se estaría produciendo carga mental o, al menos, no del mismo tipo.

Otras de las discrepancias de los resultados de este estudio frente a los de la mayoría de los antecedentes, es que en éstos los expertos pudieron no experimentar una carga mental de la misma magnitud, a pesar de haber empleado la misma tarea. Otro de los descubrimientos de Diekfuss et al. (2017) fue que el tipo de foco atencional influye en la diferente forma de experimentar la misma tarea que tienen expertos y novatos. Por otro lado, la carga emocional que experimentan los participantes va a influir en el montante global de la carga mental (Cárdenas et al., 2015). Cuando se ha comparado a expertos y novatos, en la mayoría de casos no se ha controlado ni el número de errores ni el estado emocional de los participantes. Hay que considerar que el mayor número de errores cometido por los menos hábiles puede afectarles emocionalmente de forma distinta y generarles un estado de ansiedad que les indujera a invertir un mayor esfuerzo de autorregulación para evitar que pudiera afectarles a su rendimiento en la prueba (Laborde et al., 2015). Estas circunstancias provocarían un aumento en la carga mental,

lo que supondría no tener igualadas ambas tareas y, en consecuencia, la contaminación de los resultados encontrados hasta el momento. Por otro lado, incluso ante el mismo rendimiento motor, los expertos poseen mejores estrategias cognitivas para afrontar el error (Mosley et al., 2017). En el presente estudio, tanto la frustración como la ansiedad estado experimentada por los jugadores al final de la prueba predicen su rendimiento en el pase. En línea con la TCA, los estados emocionales negativos suscitados en la tarea aumentaron la carga mental, consumiendo más recursos atencionales y evitando un uso adecuado del control del movimiento. Esto concuerda con los estudios que encuentran que participantes con mayor ansiedad disminuían su puntería causada por una reducción en la duración de la fijación final de la mirada hacia el objetivo (por ejemplo, en tiro con arco por Behan y Wilson, 2008). Reducir el tiempo en el objetivo implica menos tiempo para detectar información del estímulo y vincular los estímulos relevantes con las respuestas motoras. Existen antecedentes (Nibbeling et al., 2012; Williams et al., 2002) que señalan que la carga cognitiva y la ansiedad estado acumulan sus efectos (aumentando la carga mental total) sobre el rendimiento en tareas como correr o habilidades específicas en tenis de mesa.

Implicaciones para la práctica

Los resultados aquí encontrados pueden ayudar a entrenadores y preparadores físicos a optimizar el proceso de planificación y control del entrenamiento, gracias a la inclusión de la carga mental. El control de la cantidad y tipo de información que el jugador debe afrontar durante las acciones de juego va a tener una repercusión inmediata en sus acciones de precisión. Por otro lado, una progresión del nivel de complejidad, atendiendo al nivel de incertidumbre presente en la tarea (Cárdenas et al., 2015), puede ayudar al desarrollo del control atencional.

Conclusión

La presencia de carga mental, implementada tanto por demandas cognitivas derivadas de un aumento de las demandas de actualización y mantenimiento de la información en la memoria de trabajo, como por demandas de autorregulación emocional, causada por un aumento en el nivel de frustración y ansiedad estado, disminuye el rendimiento en el pase de jugadores de fútbol semi-profesionales durante una tarea con demandas físicas propias de su deporte.

Estudio 2. Intraocular Pressure as an Indicator of the Level of Induced Anxiety in Basketball.

Introduction

Anxiety is characterized by a psychological, physiological, and behavioral response to anticipation of an aversive event and by itself can also amplify the psychological and physiological reaction to that event (Gray & Mcnaughton, 2003). For sport psychologists, the impact of anxiety on performance continues to be one of the main research interests, especially in basketball (Wilson et al., 2009).

Basketball games are characterized by crucial and noncrucial game situations, and players need to adjust their decision behaviors depending on the game situations (Bar-Eli & Tractinsky, 2000). High-criticality situations (i.e., end phase of a close game) have demonstrated to increase the level of anxiety in sport contexts (Arruda et al., 2017; Whitehead et al., 1996), and stressful and anxiety-provoking circumstances may lead to deficits in athletic performance (Craft et al., 2003). Based on the inverted-U hypothesis (Yerkes & Dodson, 1908), the level of anxiety influences performance in an inverted-U fashion, with high levels of anxiety leading to a rapid decrease in performance (Janelle, 2002). Nevertheless, experienced players seem to possess regulatory mechanisms (e.g., self-control), which permit them to maintain an appropriate level of performance in high-anxiety situations (Englert et al., 2015). In particular, anxiety level manipulation during basketball free throw tasks seems to reduce performance (Whitehead et al., 1996) and impairs attentional control (Wilson et al., 2009). However, there is accumulated evidence about the complex relationship between arousal and performance being influenced by numerous factors such as task type, individual characteristics, athlete's global perception of confidence (self-confidence), or task duration (Arent & Landers, 2003; Burton, 1988; Craft et al., 2003). Although the anxiety–sport performance relationship is a complex matter and the shape of this association is not fully understood, there is scientific evidence supporting a negative relationship between excessive anxiety levels and sport performance (Kleine, 1990).

Regarding physiological alterations, several objective indices (e.g., salivary steroids and heart rate variability) have been used to assess changes from the

autonomous nervous system as a consequence of cognitive anxiety in elite athletes (Arruda et al., 2017; Fortes et al., 2017). In the last years, ocular physiology has demonstrated to be an objective reliable index to capture autonomous nervous system alterations as a consequence of physical and mental efforts (Siegenthaler et al., 2014; Vera, Jimenez, Madinabeitia, Masiulis, et al., 2017; C. A. Wang & Munoz, 2015; Wylęgała, 2016). In this context, intraocular pressure (i.e., the pressure exerted by the intraocular fluids against the outer coats of the eye; Segen, 2006) has emerged as a promising objective index to reflect mental efforts in laboratory (Vera, Jiménez, García, et al., 2017) and applied (Jiménez & Vera, 2018) settings, which are also sensitive to different cognitive and affective factors (Méndez-Ulrich & Sanz, 2017). Basketball players are exposed to different levels of anxiety depending on multiple factors such as moment of the game, importance of the game, referee decisions, or current result, among many others, which have a direct impact on their performance (Guillén & Sánchez, 2009). Based on the fact that intraocular pressure is not under voluntary control and it has been proved sensitive to the mental complexity (Jiménez & Vera, 2018; Vera, Jiménez, García, et al., 2017), we consider of interest to explore the possible use of intraocular pressure as an indicator of the level of anxiety experienced in sport, specifically in basketball free throws. In practical terms, the assessment of intraocular pressure by rebound tonometry is an objective, rapid, easy to measure, and well tolerated technique (Pakrou et al., 2008), which are characteristics especially relevant in ecological contexts. Thus, its sensitivity to the different factors occurring in basketball training (e.g., physical and psychological demands) would permit coaches to quantify and adjust training loads (Vera et al., 2018). It is of special relevance because training load depends on exercise characteristics such as exercise volume (duration and frequency) and intensity (pace and power), as well as psychological factors. In this regard, coaches adjust all these variables (e.g., intensity and psychological stress) during the training cycle to either increase or decrease fatigue depending on the phase of training (i.e., baseline or competition phase), aiming to enhance athletes' performance (Halson, 2014).

As stated earlier, the effects of anxiety depend on task complexity and duration, as well as individual characteristics (Arent & Landers, 2003; Burton, 1988; Craft et al., 2003). Therefore, the present study was designed to examine the possible cumulative effect of three basketball free throw conditions with identical physical demands but

different levels of induced anxiety on intraocular pressure in an experimental sample of amateur basketball players with a comparable level of expertise. The results from the present study could emphasize the feasibility and benefits of incorporating optometric procedures (i.e., intraocular pressure assessment) in applied contexts in which performance or decision making could be altered by the anxiety or mental overload experienced during the task. We hypothesized that higher values of intra-ocular pressure would be obtained with higher levels of induced anxiety, and also, higher levels of induced anxiety would be associated with higher levels of perceived anxiety and lower performance.

Methods

Participants

To the best of our knowledge, this study is the first of its nature. Therefore, there are no applicable data to calculate sample size a priori. To exceed the general convention of 80% power at the 5% level needed to conclude that a difference is statistically significant for the main analyzed variable (i.e., intraocular pressure) between the three experimental conditions and assuming an effect size between 0.25 and 0.30, a minimum sample size of 15 to 21 participants was projected. As a result, 22 male amateur basketball players (regional league) were recruited to participate in this study. For eligibility criteria, we considered the following: (1) at least 5 years of playing in competitive national Spanish basketball leagues to reduce expertise differences among players; (2) baseline intraocular pressure less than 21 mmHg, which has been considered the cutoff value for the inclusion of participants without ocular hypertension in previous studies (Doughty & Zaman, 2000); (3) free of any systemic or ocular disease, as checked by slit-lamp and direct ophthalmoscopy examination, or under pharmacological treatment; and (4) no history of ophthalmic surgery or orthokeratology. Participants were asked to refrain from alcohol or caffeine consumption, as well as strenuous physical activity on the days of testing. Four of 20 participants did not complete the entire experiment, and therefore, they were excluded for further analysis. Finally, 18 male amateur basketball players comprised the experimental sample (age

[mean \pm standard deviation], 21.28 \pm 3.20 years; years at competitive levels [mean \pm SD], 10.44 \pm 3.03).

This study was carried out in accordance with the Declaration of Helsinki, and it was approved by the university institutional review board (approval no. 112/CEIH/2016). Informed consent was obtained from all participants included in the study.

Experimental design and Anxiety-induced manipulation

A repeated-measures design was used to evaluate the acute impact of anxiety-induced manipulation during basketball free throws on intraocular pressure. To do it, participants performed free throws in three conditions, conducted in separate days and in a counter-balance order. Each experimental condition lasted approximately 60 minutes and consisted of 100 free throws (performed in a series of 2 throws), with the basketball hoop situated at standardized distance (4.60 m) and height (3.05 m). The only difference between conditions, to manipulate the level of induced anxiety, was the scoring system. Free throws were classified as hit or miss. In the low-anxiety condition, each hit shot and each miss shot were computed as one and zero points, respectively. In the medium-anxiety condition, one point was added for each hit, and one point was subtracted for each miss. In the high-anxiety condition, again one point was added for each hit, and one point was subtracted for each miss. In addition, for missed free throws at numbers 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, and 100, five points were subtracted from the total score; for two consecutive misses, total score was returned to zero. The explanation of these different scoring systems was given to participants in the familiarization session. At the beginning of each of the three experimental sessions, we first obtained the baseline intraocular pressure measure, and subsequently, participants were informed about the experimental condition to carry out each day to avoid the possible influence of anxiety on the baseline intraocular pressure measure. We ensured that participants understood the scoring systems by asking them to tell us the scoring rules, and if needed, the rules were explained again. All experimental sessions were conducted at the same time of the day (1900 hours) to avoid the possible influence of circadian variations on physical performance and intraocular pressure and separated by 1 week. Also, all sessions were conducted in the same indoor basketball court using the same basketball hoop, and two experimenters were present during the course of the experiment. One experimenter controlled the scoring system and informed participants

about the current score after each free throw, and the other experimenter performed the intraocular pressure measurements. Aiming to ensure that participants did not lose interest or motivation when they were penalized as a result of some errors in the medium or high-anxiety conditions, we used two different scoring systems (total score and percentage accuracy). Participants, or participant if the winner was the same player in both categories, with the best total score and percentage accuracy received a compensation of 100€ for each of the two scoring systems at the end of the experiment.

Instruments and measurements

Intraocular pressure assessment

We used a clinically validated rebound tonometer (Icare TA01; Tiolat Oy, Inc., Helsinki, Finland) to measure intraocular pressure (Davies et al., 2006). We obtained six intraocular pressure measurements in each experimental condition (before the beginning of the experimental session [baseline intraocular pressure measurement] and after the free throw numbers 20, 40, 60, 80, and 100). Participants remained at the free throw line, and intraocular pressure was measured in standing position. Intraocular pressure was measured from a random eye, which was consistently chosen through sessions. Following the manufacturer recommendations, participants were instructed to fixate at a target distance, and six rapid consecutive measurements were taken against the central cornea. This apparatus displays whether differences between the measurements, calculated as the mean value from the four central measurements (the lowest and highest are eliminated), are appropriate or there is a large variability between them. We always obtained values with low standard deviation (ideal measure). The illumination conditions were kept constant across experimental sessions (211 ± 14 lux, as measured in the corneal plane [illuminance meter T-10; Konica Minolta, Inc., Tokyo, Japan]).

Subjective scale

We used the Spanish version of the State-Trait Anxiety Inventory scale to check the level of induced anxiety after each experimental session (Spielberger et al., 1982). In particular, we used the state anxiety subscale only, which was completed by participants after each experimental condition. This scale is formed using 20 items, and it permits to evaluate the perceived level of state anxiety at a particular moment. This scale has an α coefficient of 0.92 (Pacheco-Unguetti et al., 2010).

Statistical analysis

A two-way factorial analysis of variance, considering the level of induced anxiety (low, medium, and high) and the point of measure (baseline, 20, 40, 60, 80, and 100) as the within-participant factors and intraocular pressure as the dependent variable, was conducted. Also, to ensure that baseline intraocular pressure levels were similar between sessions, we performed a one-way analysis of variance for the intraocular pressure measures obtained at the beginning of each experimental session with the level of induced anxiety (low, medium, and high) as the within-participant factor. In addition, two separate one-way analyses of variance, using the level of induced anxiety (low, medium, and high) as the within-participant factor and free throw performance and perceived anxiety as the dependent variables, were implemented as manipulation checks. Then we conducted linear regression analyses for the intraocular pressure values at the different points of measure and in each experimental condition to evaluate the cumulative effect of anxiety on intraocular pressure. Lastly, separate linear regression analyses were conducted between the perceived level of anxiety and intraocular pressure difference (after 100 free throws minus baseline measurement) for each experimental condition to determine the relationship between anxiety and intraocular pressure. The value to determine statistical significance was set at 0.05. The Holm-Bonferroni correction for multiple comparisons was used. Standardized effect size was reported by means of partial η^2 for the F test and Cohen d for pairwise comparisons.

Results

Eighteen young white male amateur basketball players participated in the current study. Participants' morphometric characteristics included an average weight of 81.06 ± 6.78 kg, height of 185.28 ± 7.00 cm, and body mass index of 23.59 ± 1.07 kg/m². Regarding ocular variables, participants showed a mean spherical equivalent of -0.65 ± 0.42 diopter (range, -1.75 to $+1.25$ diopters) and corneal thickness of 539 ± 15 μm (range, 520 to 556 μm).

Performance and manipulation check

Table 2 shows the descriptive statistics of basketball free throw performance and perceived level of anxiety in the three conditions. As expected, because the scoring system was different, participants obtained a worse total score during the free throw tasks with higher levels of induced anxiety ($F_{2,34} = 27.44$, $P < .001$, $\eta^2 = 0.62$), and this effect was also observed for the analysis of multiple comparisons (low vs. medium: corrected $P < .001$, $d = 1.21$; low vs. high: corrected $P < .001$, $d = 1.51$; and medium vs. high: corrected $P = .002$, $d = 0.84$). The percentage accuracy did not yield statistical significance for the level of induced anxiety ($F_{2,34} = 0.08$, $P = .93$). Regarding the level of perceived anxiety using the State-Trait Anxiety Inventory (state subscale), participants reported higher perceived anxiety with higher levels of induced anxiety ($F_{2,32} = 9.40$, $P < .001$, $\eta^2 = 0.37$). Post hoc comparisons revealed statistical differences between the low and high conditions (corrected $P = .007$, $d = 0.87$) and between the medium and high conditions (corrected $P = .06$, $d = 0.74$), whereas the comparison between the low and medium conditions did not reach statistical significance (corrected $P = .22$). These results permitted us to confirm that the condition with the high level of induced anxiety promoted a higher level of perceived anxiety in comparison with other experimental conditions. However, the nonsignificant differences between the low and medium conditions suggest that anxiety manipulation may not have been successful at lower levels.

Table 2. Descriptive values of performance and perceived level of induced anxiety in each experimental

	Low induced anxiety (M ± SD)	Medium induced anxiety (M ± SD)	High induced anxiety (M ± SD)	<i>P</i>
Total score	78.44 ± 12.68	56.33 ± 28.61	32.00 ± 37.43	<.001
Percentage accuracy	78.22 ± 12.63	77.56 ± 14.85	77.56 ± 17.12	.93
STAI (state anxiety)	15.59 ± 6.39	17.00 ± 5.73	21.53 ± 7.59	<.001

condition.

M = mean; STAI = State-Trait Anxiety Inventory

Cumulative effect of induced anxiety on intraocular pressure

First of all, we checked that there were no interday variations in the baseline intraocular pressure measurements ($F_{2,34} = 0.421$, $P = .66$; **Table 3**). To assess the interday

variability within the sample, we also calculated the intraclass correlation coefficient between the three between-day comparisons (visit 1 vs. visit 2, 0.82; visit 2 vs. visit 3, 0.90; and visit 1 vs. visit 3, 0.85).

Table 3. Descriptive values of intraocular pressure in each experimental condition and point of measurement.

IOP measurement	Low induced anxiety (M ± SD; mmHg)	Medium induced anxiety (M ± SD; mmHg)	High induced anxiety (M ± SD; mmHg)
Baseline	14.28 ± 1.99	14.75 ± 2.69	14.19 ± 2.17
After 20 free throws	14.67 ± 2.98	15.78 ± 2.12	16.44 ± 2.75
After 40 free throws	14.47 ± 2.60	15.69 ± 2.05	16.44 ± 2.52
After 60 free throws	14.42 ± 2.80	14.36 ± 2.80	17.03 ± 1.72
After 80 free throws	13.92 ± 1.94	14.25 ± 2.81	16.86 ± 1.36
After 100 free throws	14.06 ± 2.37	14.86 ± 2.80	17.28 ± 1.66

IOP = intraocular pressure; M = mean.

The two-way factorial analysis of variance reached statistical significance for the level of induced anxiety ($F_{2,34} = 13.17$, $P < .001$, $\eta^2 = 0.44$), the point of measure ($F_{5,85} = 3.27$, $P = .009$, $\eta^2 = 0.16$), and the interaction level of induced anxiety point of measure ($F_{10,170} = 3.06$, $P = .001$, $\eta^2 = 0.15$). The post hoc comparisons for multiple comparisons demonstrated differences between the low and medium (corrected $P = .02$, $d = 0.56$), the low and high (corrected $P < .001$, $d = 1.59$), and the medium and high levels of induced anxiety (corrected $P < .001$, $d = 1.14$). For its part, there were no differences between the different points of measure (all corrected $P > .05$). In addition, we tested the possible cumulative effect of induced anxiety on intraocular pressure by three separate analyses of variance for each experimental condition, considering the point of measurement as the within-participant factor. These analyses showed significance for the high-anxiety-induced condition only ($F_{5,85} = 6.90$, $P < .001$, $\eta^2 = 0.29$), and the post hoc comparison demonstrated that the intraocular pressure value after 60, 80, and 100 free throws was statistically significantly higher when compared with the baseline intraocular pressure value (corrected $P = .003$ and $d = 1.11$; corrected

$P = .008$ and $d = 0.99$; and corrected $P = .003$ and $d = 1.16$, respectively). A linear regression analysis for the high-anxiety–induced condition revealed a positive association between the point of measurement and the intraocular pressure rise ($r = 0.82$; **Figure 7** and **Table 3**).

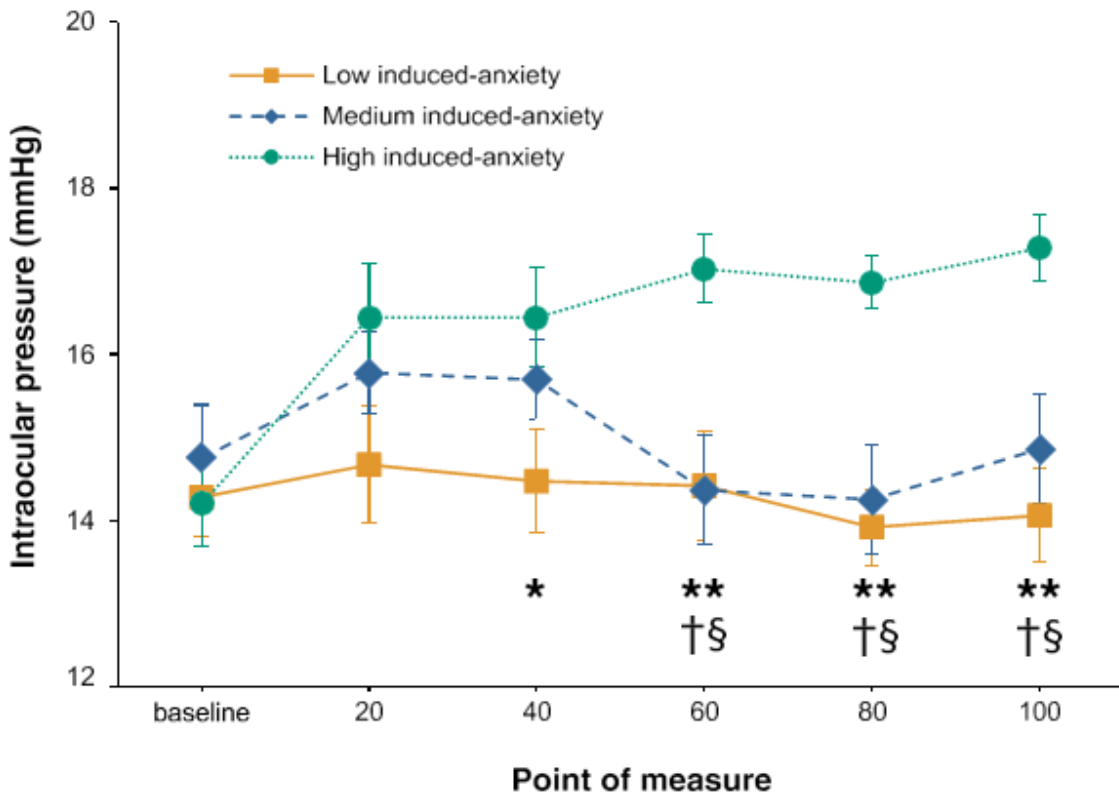


Figure 7. Effects of the level of induced anxiety at the different points of measurement on intraocular pressure (IOP). In the x axis, baseline represents the average IOP value before any effort, and 20, 40, 60, 80, and 100 indicate the average IOP value after the free throw numbers 20, 40, 60, 80, and 100, respectively. Statistically significant effect for the level of induced anxiety at each point of measurement (* $P < .05$ and ** $P < .01$, respectively). Statistical significance of low induced anxiety versus high induced anxiety and medium induced anxiety, respectively (corrected †§ $P < .05$). Markers and error bars represent the mean and SE, respectively. All values are calculated across participants ($n = 18$).

Separate linear regression analyses between the level of perceived anxiety and intraocular pressure change for each experimental condition showed a positive association between both variables in the high-anxiety–induced condition ($R^2 = 0.50$, $P < .01$), whereas this association did not reach statistical significance for the low-anxiety–induced ($R^2 = 0.12$, $P = .17$) and medium-anxiety–induced ($R^2 = 0.12$, $P = .18$) conditions (**Figure 8**).

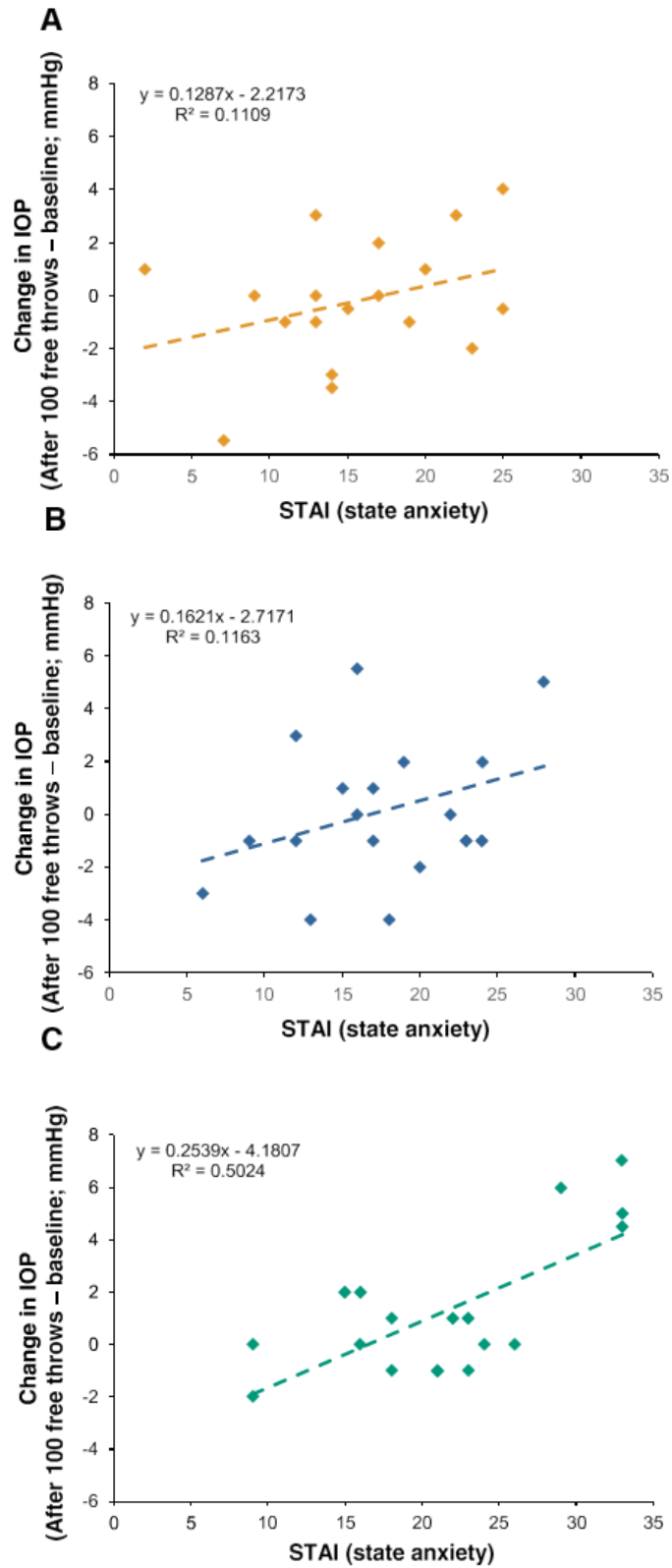


Figure 8. Linear regression obtained between the changes in intraocular pressure and perceived levels of anxiety in the low-anxiety-induced (A), medium-anxiety-induced (B), and high-anxiety-induced (C) conditions. The linear equations are shown with the corresponding coefficient of determination (R²). All values are calculated across the total sample (n = 18).

Discussion

We examined the effects of the level of induced anxiety during basketball free throw shooting on intraocular pressure, shooting performance, and perceived anxiety in amateur basketball players. Regarding the manipulation check of the level of anxiety, participants reported higher perceived anxiety, as measured by the state subscale of State-Trait Anxiety Inventory, for the high-anxiety-induced condition. However, different levels of anxiety in basketball free throw shooting did not have any significant influence on performance, which may be explained by athletes' psychological resources (high-cognitive function; Englert & Bertrams, 2012; Janelle, 2002). Relevantly, we found for the first time that intraocular pressure is sensitive to the level of induced anxiety during basketball free throws, showing that higher levels of induced anxiety promoted greater intraocular pressure increments. These results are in accordance with previous studies that demonstrated that mentally demanding tasks modulate intraocular pressure (Jiménez & Vera, 2018; Vera et al., 2016; Vera, Jiménez, García, et al., 2017).

In addition, when the three conditions were analyzed separately, only the high-anxiety-induced condition promoted a significant intraocular pressure rise, showing that intraocular pressure levels were significantly higher from the 60 free throws onward in comparison with the baseline level. Our data also revealed a cumulative effect of high levels of induced anxiety on intraocular pressure, as indicated by the positive linear relationship between the intraocular pressure increment and the number of basketball free throws, as well as between the perceived level of anxiety and the intraocular pressure change obtained in the high-anxiety-induced condition.

Recent studies showed an instantaneous intraocular pressure response to physical load, with the intraocular pressure increments being positively associated with the magnitude of resistance imposed (Vera, García-Ramos, Jiménez, et al., 2017; Vera, Jiménez, Redondo, et al., 2017). Here, the possible effect of physical effort was controlled because all experimental sessions were matched in physical demands (100 basketball free throws), and only the instructions given to participants were manipulated to modify the level of induced anxiety. Importantly, our experimental manipulation seemed to be successful because participants reported higher perceived anxiety after

performing the high-anxiety condition, which indirectly demonstrates differences in the level of induced anxiety between experimental conditions (Wilson et al., 2009). Nevertheless, the level of induced anxiety did not promote a worse performance, as measured by the percentage accuracy. This may be supported by previous studies that have reported that experienced players exhibit a higher executive functioning, including self-control in highly anxious contexts, when compared with recreational players, which permits to maintain the level of performance (Englert et al., 2015; Englert & Bertrams, 2012; Jacobson & Matthaeus, 2014). In view of this, it seems reasonable to state that our experimental sample (amateur players with accumulated experience of 10.44 ± 3.03 years at a competitive level) had a sufficient self-control strength to avoid the negative impact of anxiety on performance. As discussed by Janelle (2002), high anxiety may lead to similar performance when compared with low-anxiety circumstances; however, athletes will have to work harder in high-anxiety conditions to maintain performance. In periods of high anxiety, it has been proposed that attentional and cognitive available resources are limited and may lead to less automatic and more effortful processing (Hatfield & Hillman, 2001). Taken together, these pieces of evidence highlight the importance of anxiety control in sport scenarios. We consider that the types of anxiety manipulation used in the present study could be implemented by coaches in collaboration with sport psychologists during training sessions because they may permit to improve self-control and processing efficiency and thus players' performance in real game situations. Nevertheless, further evidence is needed to determine whether the proposed anxiety manipulation during training sessions may permit to improve performance in real game contexts.

The balance between the sympathetic and parasympathetic branches of the autonomous nervous system regulates intraocular pressure by the generation and drainage of aqueous humor (i.e., the main determinant of intraocular pressure), respectively (Li et al., 2017; Winfried & Falk, 2011). Therefore, the execution of tasks, either physical or mental, that produces central nervous system alterations has been proved to promote an acute intraocular pressure response (Vera, Jiménez, García, et al., 2017; Vera, Jiménez, Redondo, et al., 2017). In addition, our results demonstrate a cumulative effect of induced anxiety on intraocular pressure, and therefore, a sufficient time under anxious conditions is required to find intraocular pressure increments. This finding is in agreement with the study of Vera et al. (2017), who found a progressive

increment of the intraocular pressure response in parallel to the nervous system's activation state, as measured by heart rate variability, during a mental workload task. Notably, interindividual differences on the physiological responsiveness to acute stress, as well as other possible coexisting factors (e.g., physiological arousal and motivation), should be considered when interpreting the present outcomes (Allen et al., 2014). In addition, we found a positive linear association between the level of perceived anxiety and the intraocular pressure change in the high-anxiety-induced condition ($r = 0.71$), which partially supports the fact that the intraocular pressure behavior is modulated as a function of perceived anxiety in an individual manner.

Psychological factors have shown to alter performance and the physiological responses promoted during sport; thus, researchers have recently focused their attention on this aspect (Saw et al., 2016). In high-level competition, athletes are exposed to competition-related anxiety among other stressors, which impact their load adaptation mechanisms (Halson, 2014). In this sense, researches pursue looking for reliable tools to monitor the athletes' training load, which may permit to reduce the incidence of overtraining and the risk of injury or illness (Saw et al., 2016). To that effect, intraocular pressure has been shown to be associated with physical or mental effort, as well as with psychosocial stress, considered as a trait measure (Yamamoto et al., 2008). Based on this evidence, we argue that intraocular pressure may be tested as a possible index to assess athletes' training load; however, the external validity of these findings needs to be tested in other sport contexts (i.e., situations with concomitant physical and mental requirements).

The use of rebound tonometry presents numerous advantages, especially in applied contexts (e.g., on the basketball court in a training session); because it is rapid and easy to obtain, it is well tolerated by individuals, it does not require the instillation of topical anesthesia, and the device is handheld and portable (Pakrou et al., 2008).

Limitation and future research

Here, we show how anxiety-induced manipulation during basketball free throws induces a cumulative intraocular pressure rise, namely, when intraocular pressure was measured immediately after the corresponding free throw. However, we must acknowledge some limitations. First, our experimental sample is formed by amateur basketball players, and as indicated by Jacobson and Matthaues (2014), athletes have demonstrated differences

in self-control depending on their level of expertise and type of sport. Thus, our results would not be extrapolated to athletes with different levels of expertise or from other sport disciplines. Second, only men were included in this study, and the physiological impact of exercise has shown sex differences (Kenney et al., 2021). Future studies should include women in their experimental sample. Third, the present findings have been obtained under controlled conditions and with discrete levels of induced anxiety, but not during a real competition situation where physical and mental demands overlap in an unpredictable manner. Thus, our results may be cautiously interpreted in this regard and need future research. Fourth, intraocular pressure changes in the present investigation exhibited a certain level of variability between individuals, and it may limit the application of this relationship for a single subject. Lastly, we took intraocular pressure values at different points of measure; however, a continuous recording of intraocular pressure may incorporate more detailed information on the effect of different physical or mental manipulations on intraocular pressure. The novel development of contact lens sensors for intraocular pressure monitoring (SENSIMED Trigger fish; Sensimed, Lausanne, Switzerland; De Smedt et al., 2012) could permit a better understanding of the possible use of intraocular pressure as an indicator of training load.

Conclusion

Summing up, we found that intraocular pressure reflects anxiety-induced manipulation during a basketball free throw task, with a cumulative and acute intraocular pressure rise as a consequence of high level of induced anxiety. Intraocular pressure, as measured by rebound tonometry, offers a potentially valid index to evaluate athletes' anxiety levels in field situations, although interindividual differences may limit the application of this relationship to a single basketball player. This preliminary evidence needs further investigation to determine whether the present outcomes are specific or generalizable.

**CAPÍTULO IV: EFECTO CRÓNICO ESTRUCTURAL Y
FUNCIONAL DEL EJERCICIO FÍSICO CON CARGA
MENTAL**

CAPÍTULO IV: EFECTO CRÓNICO ESTRUCTURAL Y FUNCIONAL DEL EJERCICIO FÍSICO CON CARGA MENTAL

Estudio 3.1. The cognitive benefits of basketball training compared to a combined endurance and resistance training regimen

Introduction

Physical activity (PA) has positive effects on cardiovascular and general health, and it can also protect the human brain and cognition. Both cross-sectional and prospective studies have shown that individuals with better fitness or higher levels of PA tend to have higher levels of neurocognitive function compared to inactive or sedentary people (A. Brown et al., 2010). Several of these studies have observed the effects on the executive functions (EFs) involved in higher cognitive processes. For instance, studies with adolescents have shown a relationship between PA and better cognitive outcomes, presenting improvements in EFs (Curlik & Shors, 2013), while low levels of PA are closely related to impaired EFs (Liu-Ambrose & Donaldson, 2009). However, when this relationship is tested in experimental studies, the results are not entirely congruent. Some meta-analyses have found positive effects for aerobic (AER) exercise interventions on EFs (Colcombe & Kramer, 2003), but reviews such as Young et al. (2015), have observed cases in which no effects were reported. Although it has been consistently shown that PA has a positive effect on neurocognition, many questions remain about the factors that trigger cognitive benefits.

According to Miyake et al. (2000), EFs are related to attentional processes in the brain. Three important (core) EFs (Diamond, 2013) are related to this attentional process: updating, or constantly observing the environment looking for essential information and quickly adding or deleting information in the working memory (WM); shifting, or the capacity to switch between different tasks or mental sets and use attention with cognitive flexibility (CF); and inhibition control (IC), which is the ability

to deliberately override dominant or prepotent responses to certain stimuli. One can thus hypothesize explanations for how PA interventions improve EF—that is, through (1) regulation of neurotrophins, (2) an increase in blood flow and circulatory angiogenesis increases oxygen saturation, and (3) better information processing because of an increment in brain neurotransmitters (Quintero et al., 2018).

Research on influence of PA on brain function has been experimentally developed in two different ways based on intervention length. The first are studies that observe the instant effect of PA in cognition—that is, the acute effect. The second set of studies investigate the chronic effect of regularly engaging in PA over time, but this group is relatively small compared to studies on acute effects. More studies on the chronic cognitive effects of PA are thus necessary to check if both cross-sectional and acute results are similar in the long term. To the best of our knowledge, the results of studies in these two paradigms are not entirely congruent. According to Álvarez-Bueno et al., (Alvarez-Bueno et al., 2017) these incongruent results may be due to the lack of control in variables such as individual factors (e.g., age or gender); task-related factors (e.g., intensity, frequency, overall duration); and contextual factors. We therefore conducted a chronic effect study that tried to control these variables as much as possible through participant recruitment and training characteristics (please see Methods), although the authors are aware of the difficulty of controlling all possible variables that may interfere with the results.

The PA training modality generally applied in longitudinal studies reporting positive effects has been either aerobic (AER) or resistance exercise (R). Both types of training have, however, been shown to improve performance in several cognitive functions, including attention, information processing, and memory (Ludyga et al., 2016). Interestingly, it has been reported that the combination of AER and R exercises in a PA training program (AER+R) causes extensive overall improvements, rather separate improvements to attention capacity and concentration (Quintero et al., 2018) A meta-analysis conducted by Colcombe et al. (Colcombe & Kramer, 2003) also revealed that the most significant benefits to EFs were achieved when AER was paired with R.

Likewise, some evidence has shown that performing a PA in the presence of external stimuli, typically via game-like conditions that require information processing and working memory to perform successfully, can also contribute to improved EFs. The

recent study by Müller et al. (2017), stated that PA interventions requiring constant cognitive and motor learning are more efficient in inducing cognitive benefits than the repetitive and cyclical activities generally used in AER and R studies. That is, rather than only performing a physical exercise, there could be more cognitive benefits if the exercise occurs in the context of a cognitively stimulating environment (Fabel et al., 2009; Fabel & Kempermann, 2008). This combined dual-task training, in which the participant engages in PA and cognitive tasks simultaneously, is more cognitively demanding, because it involves additional cognitive processing to integrate and coordinate the two tasks at the same time (Kramer et al., 1995a). The environmental conditions of the game (or task) places individuals in a continuous process of initiation, control, and flexibility to modify actions, which is believed to strengthen component processes of EF and memory storage (Diamond & Lee, 2011). The meta-analysis performed by Ludyga et al. (2020), with healthy adults highlighted that coordination exercises (with cognitive and attentional requirements) yielded the most significant effect on EFs.

Researchers thus consider that dynamic team sports, such as basketball (BAS), might be an excellent context for improving cognition (Diamond & Lee, 2011). The situations generated in this type of sport are complex due to their great dynamism, temporal restrictions, and the high number of stimuli requiring attention, which ensures mental commitment and thus stimulates the EFs (Cortis et al., 2011). The grade of uncertainty generated in this practice also produces considerable activation of the neural circuits and structures of the prefrontal cortex, which are related to EFs (Cross et al., 2007). These sports demand that the athletes, besides putting forth a high degree of physical effort, also pay attention to the continually changing environment to perceive the information needed to make a decision (e.g., to observe the movements of teammates and opponents) and execute it (Mangine et al., 2014; Moen, Hrozanova, & Stiles, 2018). These skills are directly linked with the EFs, and it is no surprise that elite players show better levels of EFs compared to amateur or sedentary individuals (Lundgren et al., 2016). Neuroimaging studies have revealed that children who practice team sports show greater development in prefrontal areas because of their deeper information-processing requirements (Carey et al., 2005). Nevertheless, many studies in this area have been cross-sectional (i.e., comparing elite athletes at different levels with amateur or sedentary individuals). It could thus also be the case that individuals with

better EFs are more likely to become skilled athletes (reverse causality), so it more longitudinal and experimental studies are necessary to clarify the benefits of practicing these sports.

To the best of our knowledge, comparing the longitudinal effects achieved in PA with cognitive demands versus without them (i.e., BAS versus AER+R) has not yet been studied in young adults. This study therefore compared the effects of following a four-month training program on the EFs—specifically IC, WM, and CF. Finally, to palliate any potential methodological problems that might lead to results incongruent with the literature, the entire study sample was composed of university students with similar levels of fitness, body composition, PA habits, dynamic team sport experience, and age; a control group was also included. We hypothesized that the BAS group, considering that the participants would engage in training with aerobic effort and attention to external stimuli, would show better EFs at the end of the intervention compared to individuals in the AER+R and CON groups.

Methods

Ethical clearance

Recruitment and experimental procedures for this study complied with the Declaration of Helsinki. Approval was granted by the Ethics Committee on Human Research of the University of Granada, Spain (419/CEIH/2017). All volunteers were informed about the experimental aims and conditions and signed an informed consent form before the study.

Power analysis

To estimate the sample size, an a priori power calculation (G*Power version 3.1; Faul et al., 2007). was performed. First, according to the exercise and cognition literature (J. Booth et al., 2020; Ludyga et al., 2016; Verburgh et al., 2014), the parameters applied were power = 0.95, $\alpha = 0.05$ and effect size = 0.1 (small). However, the output of the minimum sample size was 390 participants, which would make it very complex to conduct the study. So, the effect size was changed to 0.25 (medium), which has been

observed in general experiment studies as a reasonable estimation (Brysbaert, 2019); this yielded a minimum sample size of 60.

Participants

Eighty-one university students were recruited using an informative flyer and underwent screening by a standardized telephone interview and filling out an online questionnaire. The inclusion criteria established were: (1) aged 18–28 years old with a university degree or present university student status; (2) low PA habits (assessed by METs scale, see Variables section) and not having competed in a federated league for a dynamic team sport similar to basketball (e.g., football, handball, hockey); (3) BMI in the normal weight range; and (4) did not have a current medical condition for which exercise would be contraindicated. After applying the inclusion criteria, the number of participants was reduced to 61, of which 50 reached the end of the training period (see the flowchart in **Figure 9**). The random distribution of those 50 participants was: BAS group, 16 participants (five women, mean age 24.19, $s = 3.16$); AER+R group 18 participants (eight women, mean age 23.72, $s = 3.02$); and a low-PA control group (CON), 16 participants (seven women, mean age 24.19, $s = 2.99$).

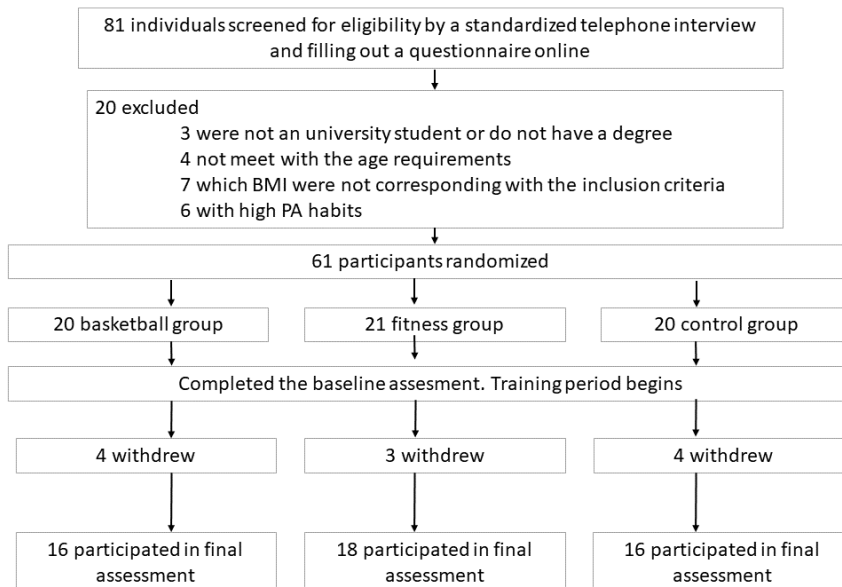


Figure 9. Flowchart of the participants of the study.

Study design

A pre-post experimental study design was used to test the effects of the different PA programs on the EFs, along with the low PA control group. The two experimental

groups followed a four-month PA training program of two hours per week. In one intervention, the participants followed a PA training with cognitive demands by playing basketball, while the other experimental group followed a regular fitness training program combining aerobic and resistance exercises.

Variables

PA habits

The International Physical Activity Questionnaire Short Form (IPAQ-SF; Lee et al., 2011) is a 7-item questionnaire designed to measure respondents' PA (e.g., Typically, how much time in total did you spend on intense physical activity on one of those days?). According to the answers, MET units are calculated: more than 600 METs indicate that the individual has a moderate PA habit and more than 3,000 METs are considered a vigorous PA habit, while scores not reaching the moderate levels indicates a low PA habit (inclusion criteria).

Endurance performance

Maximal incremental effort was performed to assess the endurance fitness level. It was carried out in an h/p/COSMOS pulsar (Nussdorf-Traunstein, Germany). The test began with a 3-minute warm-up at 8 km·h⁻¹, at 1% slope; the treadmill speed was set to 10 km·h⁻¹, from which the incremental part of the test started. The treadmill speed was increased 0.25 km·h⁻¹ every 15 seconds until volitional exhaustion. After exhaustion, an active recovery period was established consisting of participants walking at 4 km·h⁻¹ (0° slope) for 5 minutes. Participants wore a fall prevention system during the entire session. Pulmonary gas exchange and EKG signal (Ultima Cardio2; Medical Graphics Corporation, St. Louis, USA) were continuously recorded in the whole process. The fitness measure was VO₂max (oxygen consumption at exhaustion). The test was carried out under the control of a doctor in sports medicine.

Resistance performance

The DynaSystem Research Functional Dynamometer (SYMOTECH, Granada, Spain) was used to evaluate the resistance performance by calculating the capacity to generate isometric strength in both the lower trunk (i.e., quadriceps) and upper trunk (i.e., biceps), following the evaluation procedure described below.

Split squat

While standing upright on the DynaSystem Research Functional Dynamometer, the subject did a split squat and hyperextended the hip of the non-dominant leg, placing the superior aspect of the foot on a stable bench of approximately 75 cm in height. The non-dominant leg was placed on the bench at approximately 90° of femorotibial flexion and slight hip hyperextension. The knee of the dominant leg was exactly placed at 65°, positioning the foot above the DynaSystem Research Functional Dynamometer. An expert staff member used a universal goniometer to measure the angle of joint motion following the current guidelines (Dote-Montero et al., 2021). The stance width was horizontally measured from the heel of the lead foot to the edge of the bench where the superior aspect of the foot was placed. At this point, subjects were asked to maintain a neutral spine, chest, and head position while facing forward. After obtaining balance and composure with both hands separated at shoulder width and resting on the wall at face height (i.e., maintaining proper posture), the subjects performed an 8 second maximum isometric split squat. This procedure has been used in other studies (Dote-Montero et al., 2022).

Biceps isometric strength

Participants stood on top of the machine. The foot opposite to the arm executing the gesture was placed parallel to the cord, while the other foot was placed behind. Both feet were placed on the line marked by the width of the shoulders. The knees were semi-flexed at approximately 15° (0° = full knee extension), the back straight, the shoulders aligned, and the gaze always straight ahead. The elbow flexion angulation was 45° or 90° (0° = full elbow extension).

Intelligence level

The matrix reasoning test from the WAIS-III battery (Wechsler, 1997) was used to assess the approximate IQ level of the participants, which was used as a control measure for the EF results. It consists of a non-verbal intelligence test in which a total of 26 figures with one portion missed are presented to the participant consecutively. From a total of five options, the participant has to answer which of them is more suitable to fill the gap with no time limit. This test can be used for different cultural and socioeconomic groups to capture general intelligence.

Inhibition control

A Spanish adaptation of Golden's Stroop test (Golden, 1994) was used to evaluate IC (i.e., the inhibition response). This test consists of a total of three different conditions, which are similar to each other in the number of stimuli (i.e., 100 stimuli) printed on a sheet of paper in which the participants have 45 seconds to determine the maximum correct answers. The three conditions are: (1) read the words blue, red, and green that are printed in black; (2) 100 lines with the text "xxx" printed in different colors which the participants have to recognize; (3) the word written do not have the same color ink, and the participant has to name the color ink (i.e., "red" is printed in blue, participant has to answer blue). Correct responses and the index Stroop interference score were calculated for each participant.

The flanker task (Eriksen & Eriksen, 1974) was also applied to assess IC (i.e., perceptual inhibition). An array of five black arrows was presented centrally on the white background of a 15.6" computer screen. Participants, who were seated, were instructed to respond as quickly as possible to the directionality of the central target arrow using a computer mouse: right-click if the central arrow is pointed to the right, left-click if it is pointed to the left. Congruency was varied by manipulating the directionality of the flanking arrows. Flanking stimuli were randomly presented and could be either congruent (i.e., all arrows facing in the same direction, "<<<<" or ">>>>") incongruent (i.e., flanking arrows facing the opposite direction, "<<><" or ">><>>") or neutral (i.e., only the central arrow appears, "...<.." or "...>.."). Stimuli were presented for 100 ms with a variable inter-stimulus interval of either 900, 1100, or 1300 ms. Participants completed 36 practice trials before completing two blocks of 144 trials, resulting in a task that took no more than 15 min to complete.

Working memory

Participants performed the Letters and Numbers test from the Wechsler Adult Intelligence Scale-3 cognitive test battery (WAIS-III; Wechsler, 2006). The test consists of an instructor telling the participant, at a slow rhythm in a loud and clear voice, an alternate sequence of letters and numbers; the participant must first order the block of numbers from least to greatest and then the block of letters in alphabetical order (i.e., if the instructor says "B-5-3," the participant has to answer "3-5-B"). The test begins with a chain of three elements, to which an additional element is added every three tests. The

test ends once the participant has not completed at least one test of the three that form part of each chain. Each test performed correctly is scored with one point.

Cognitive flexibility

The Trail Making Test (Reitan & Wolfson, 1985) was used to calculate CF. It consists of two parts: (1) a sheet of paper on which the numbers from 1 to 16 are distributed, and the participant has to draw a line that unites the numbers from low to high as fast as possible; (2) a sheet of paper on which numbers (from 1 to 16) and letters (from A to P) are distributed, and the participant has to draw a line following a sequence of uniting the numbers from low to high and letters alphabetically alternatively (i.e., 1-A-2-B-3-C). The variable of interest was calculated by the differential score of the time to perform part 2 minus the time to perform part 1. In case of a mistake during the participant's performance, the instructor immediately indicates that there was an error and the participant had to go back to the previous step.

Procedure

First, there was a meeting with all of the participants to explain the study and familiarize them with the cognitive tests. Participants signed their consent forms and were assigned to a group. The pre-evaluation was assessed before beginning the intervention in one week following a counterbalanced order distributed in three blocks, with 48 hours of separation: endurance, resistance, and EFs/intellectual performance (the order was also counterbalanced with a 3-minute rest between tests). The participants followed a four-month training with two one-hour sessions per week. Two of the groups were experimental (BAS and AER+R), while the last was a control group (CON). When the intervention was completed, the three groups performed the post-evaluation tests in the same order as in the pre-evaluation, although intellectual performance was not assessed, because it was used only to check that there were no differences in general intelligence between them. The procedure of each group was the following:

BAS group

Although playing BAS requires individuals to play in situations with cognitive demands, we were afraid that the few hours per week might not be enough to cause chronic effects if the intervention consisted only in free-game situations (e.g., matches

following the sport rules), and there could be a risk that the participants were more focused on the motor demands of execution (e.g., passing, receiving, dribbling), rather than on the tactical demands, which would result in inadequate cognitive stimulation. Thus, the authors considered dividing every session for the BAS group into three blocks: (1) a passing game; (2) the development of individual skills with a direct opponent; and (3) a collective game with specific rules. The order of these three blocks was changed in every session. Participants warmed up for five minutes individually before performing the blocks. Task difficulty increased according to the level of proficiency demonstrated.

In the passing game block, the participants were divided into two teams. Each team had a ball, and the game consisted of one team having to use their ball to touch the participant of the other team who has the ball, while the other team has to perform ten passes. The general rules were that the participant with the ball cannot move, so the team had to cooperate and make good passes to achieve the goal, and every time a participant passed, it was mandatory to move to another place, so staying in the same place was forbidden. The difficulty progressively increased over the training period by adding more rules such as not repeating the pass to the same person who did the previous pass, not looking at the person who is going to receive the ball, the type of pass has to be different from the previous one, a reduction in the game space, the presence of a third ball on the floor which the team that is trying not to be tagged must roll with their feet, and the team trying not to be tagged was assigned to wear two different colors and the ball could not be passed to a teammate wearing the same color.

The development of individual skills with a direct opponent consisted of tasks in which participants learned individual basketball technical skills (e.g., dribbling, shooting) with an ever-present opponent trying to grab their ball. Specific rules that required them to use their attention capacity included making it progressively more demanding, such as changing the dribbling hand, passing the ball to the instructor when he raised his hand, ending in a shoot in a one-on-one situation if the instructor showed a yellow color and in a lay-up if the card was red. Non-compliance with these rules led to an attacker-defender role change.

Respecting the collective game, the specific rules consisted of tasks somewhat similar to official basketball matches but applying task constraints, such as a time

possession limit of 10 seconds, limiting the number of passes, the inclusion of another teammate, and playing in offensive or defensive advantage.

Finally, at the end of every session, all of the participants had to report their perceived effort according to the RPE scale.

AER+R group

In each session, the AER+R group performed alternative blocks of aerobic and resistance training, and the sum of those blocks resulted in 50% aerobic training plus 50% resistance training. Participants performed a 5-minute warm-up before the beginning of the session. The aerobic training program followed a HIIT protocol: four bouts of 3 minutes at 85%–95% HRmax (obtained in the maximal endurance test) interspersed and 5 minutes of active recovery at 75%–85% HRmax. Resistance training consisted of a combination of isometric training and 12–15 repetitions at 50%–70% of the maximum isometric strengths obtained in the DynaSystem Research Functional Dynamometer, distributing all of the major muscle groups between the two sessions of the week.

Like the BAS group, all of the participants answered the RPE scale when the session was concluded. This information was used to increase or decrease the intensity of the training individually.

Control group

Considering that the participants fulfilled the PA habits requirements to participate in the study, they were asked to maintain the same activity during the following four months. The researchers periodically contacted these participants (2–3 times per month) to ensure that they were maintaining the same schedule.

Statistical analysis

Data summaries were computed for the whole sample. First, a Shapiro–Wilk normality test was conducted for all of the variables of interest. Second, to check that before the intervention there were no differences between groups in terms of individual factors, pre-intervention variables (see points from 2.5.2 to 2.5.6 in the methods section) were submitted, according to their normality data, to their respective statistical analysis (i.e. ANOVA or Kruskal–Wallis), showing that there were no significant differences between groups. Again, PA habits were not analyzed because they were only used as

inclusion criteria. Third, to check that the training program caused benefits in fitness, a differential score (Δ ; post minus pre score) was calculated in both VO₂max and strength variables and was submitted to both a paired sample t-test and the Wilcoxon test, according to the normality of their data. Fourth, as in the previous step, to observe the group effect in the EFs, Δ WM, Δ CF, and Δ IC were submitted to a paired sample t-test and Wilcoxon test. Finally, to establish significant differences in the variation of EFs between groups, Δ WM, Δ CF, and Δ IC were submitted to ANOVA and Kruskal–Wallis tests.

The significance level was set at .05, and Bonferroni correction for multiple comparisons was used where applicable. The standardized effect size was reported employing the partial η^2 for Fs and d in post-hoc analysis and t-tests, and r for the Wilcoxon paired-sample test, following the formula z/\sqrt{n} , where z is the z-statistic and n the number of observations. Partial η^2 was based on Cohen's f , which defines small, medium, and large as, respectively, 0.10, 0.25, and 0.50, which corresponds to an η^2 of 0.0099, 0.0588, and 0.1379, and both d and r use Cohen's interpretation guidelines of 0.1 (small effect), 0.3 (moderate effect), and above 0.5 as a strong effect. The JASP statistics package (version 0.8.1.2) was used for analysis.

Results

Means and standard deviations for each variable of the study are displayed in **Table 4**. No significant differences between groups were observed in age, BMI, PA habits, intellectual level (i.e., matrix reasoning test), and both fitness and cognitive variables before the intervention. Moreover, after every session, all of the participants reported their rate of perceived effort (RPE). Thus, before the intervention, there were no differences between groups at cognitive and fitness levels, and both groups trained at the same intensity.

Table 4. Summary descriptive statistics for the variables of the study.

Variable	Basketball (n=16; 5 women)		AER+R (n=18, 8 women)		Control (n=16; 7 women)	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Age	24.19	3.16	23.72	3.02	24.19	2.99
BMI	23.36	3.11	23.37	1.97	22.21	2.61
Matrix score	21.19	2.16	21.11	2.37	20.31	3.11
VO2 max PRE	44.48	4.99	37.72	9.36	40.39	6.91
VO2 max POST	48.125	4.54	44.70	8.61	40.34	7.73
Biceps strength PRE	15.39	5.12	13.41	5.32	13.51	5.45
Biceps strength POST	15.24	4.73	14.87	4.91	14.38	5.19
Quadriceps strength PRE	44.74	25.86	35.37	26.46	53.03	28.47
Quadriceps strength POST	64.32	23.95	60.28	22.78	65.68	28.58
Letters and numbers test PRE	11.38	2.87	12.39	2.06	11.13	1.89
Letters and numbers test POST	13.13	2.33	13.11	2.34	12.19	2.58
Trail making test PRE	31.38	28.58	35.22	29.68	29.94	12.08
Trail making test POST	30.13	12.24	23.06	8.32	30.94	14.53
Stroop part 3 score PRE	55.01	15.14	57.89	11.38	53.01	13.16
Stroop part 3 score POST	62.38	13.53	61.67	13.33	56.01	10.74
Stroop interference PRE	45.07	9.06	51.34	8.76	48.33	5.93
Stroop interference POST	50.83	6.01	53.49	8.11	49.61	4.97
Flanker congruent acc. PRE	99.22	1.67	99.51	1.13	99.33	1.47
Flanker congruent acc. POST	99.73	0.71	99.53	0.89	98.31	2.43
Flanker congruent rt. PRE	518.80	66.887	518.69	57.48	517.21	37.11
Flanker congruent rt. POST	494.39	74.01	500.85	61.55	504.09	47.25
Flanker incongruent acc. PRE	92.898	8.297	93.17	5.63	94.35	5.93
Flanker incongruent acc. POST	91.92	6.07	92.47	7.01	90.62	9.16
Flanker incongruent rt. PRE	606.82	70.81	610.86	64.39	625.11	78.84
Flanker incongruent rt. POST	573.79	85.59	586.49	71.69	599.19	60.01
Flanker neutral acc. PRE	99.35	1.24	99.17	1.71	99.34	2.11

Flanker neutral acc. POST	99.34	1.25	99.31	1.42	98.56	2.81
Flanker neutral rt. PRE	501.28	50.41	514.71	58.74	516.41	31.91
Flanker neutral rt. POST	484.01	60.52	490.75	57.91	494.79	37.73

Note: SD: Standard deviation; AER+R: experimental group which follow a 4-month training programme of aerobic and resistance exercises combined; acc.: accuracy; rt.: reaction time.

Manipulation check

The results showed that BAS group improved significantly in VO2max levels ($t = -2.874$; $p\text{-value} < .001$; $d = -1.25$) and quadriceps strength ($Z = -2.638$; $p\text{-value} = .008$; $r = -0.66$). The AER+R group improved in both aerobic ($t = -3.387$; $p\text{-value} = .004$; $d = -0.798$) and biceps resistance levels ($Z = -2.722$; $p\text{-value} = .006$; $r = -0.642$) and quadriceps ($Z = -3.682$; $p\text{-value} < .001$; $r = -0.868$). The CON group did not show significant differences in any fitness test. This result is illustrated in **Figure 10**.

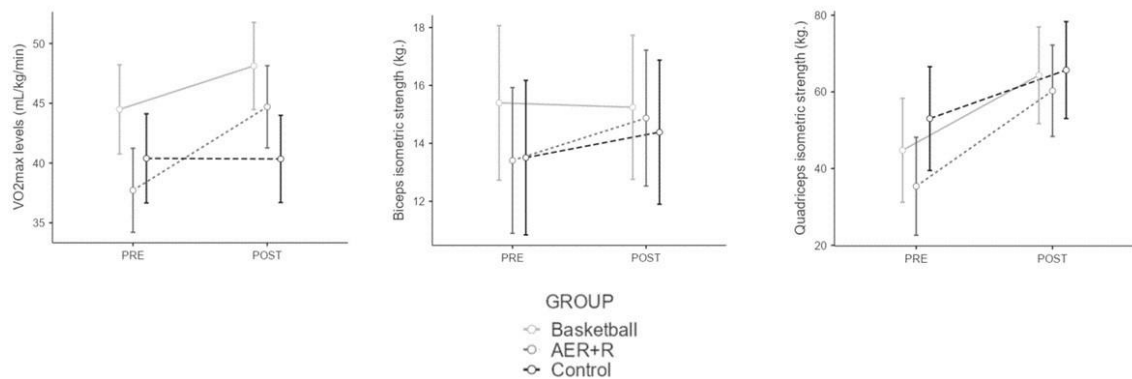


Figure 10. Physical condition manipulation check. Basketball group improves significantly in vo2 levels and strength in quadriceps. Fitness group (AER+R) improves in vo2 levels and strength in biceps and quadriceps. Control group did not obtain significant differences in any fitness test.

Group effect

First, considering that each EF variable was analyzed for each group, it is suitable to apply Bonferroni correction and consider significant results when $p < .017$. Regarding WM, the group effect analysis showed that only the BAS group ($Z = -2.824$; $p\text{-value} = .005$; $r = -0.706$) improved significantly. The AER+R and CON groups reported no significant differences. Concerning CF, only the AER+R group showed a marginally significant improvement ($Z = -2.331$ $p\text{-value} = .02$; $r = -0.549$). Lastly, the group effect analysis in IC showed that the BAS group improved significantly in both parts of the Stroop test [part 3 score: ($Z = -2.728$ $p\text{-value} = .006$; $r = -0.682$); interference score: (Z

= -3.154 p-value = .002; $r = -0.789$)] and also significantly improved in the reaction time of the incongruent ($Z = -2.43$ p-value = .015; $r = -0.608$) parts of the flanker task. The AER+R group significantly improved in the reaction time for the congruent ($Z = -2.765$ p-value = .006; $r = -0.652$) and incongruent ($Z = -2.43$ p-value = .015; $r = -0.573$) parts of the flanker task. Finally, the CON group showed significantly worse performance in the accuracy of the flanker task in the congruent ($Z = -2.388$ p-value = .017; $r = -0.597$) and incongruent trials ($Z = -2.942$ p-value = .003; $r = -0.736$) but improved in the reaction time for the neutral part ($Z = -2.534$ p-value = .011; $r = -0.634$). A visual representation of these results is depicted in **Figure 11**.

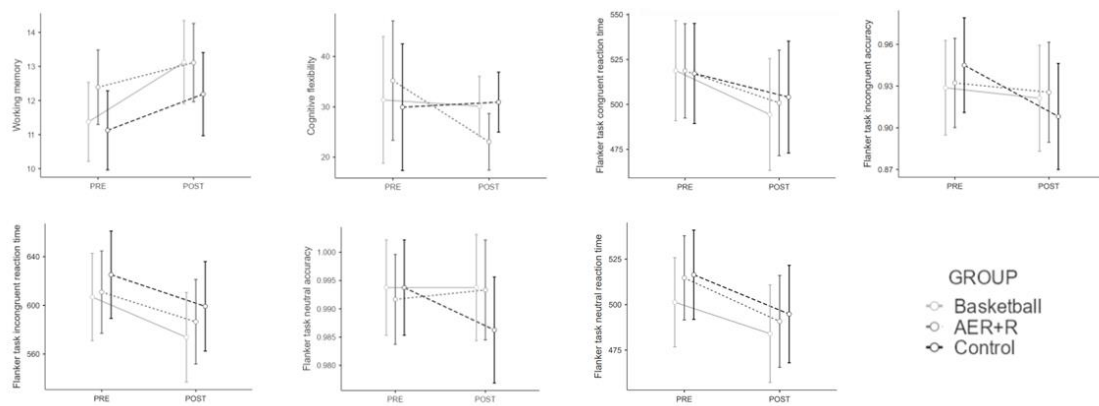


Figure 11. Group effects in executive functions. Basketball group significantly improved in working memory, Stroop part 3 and interference score, and the reaction time in flanker task incongruent part. Fitness group (AER+R) significantly improved in cognitive flexibility (note that in trail making test, less is better), and the reaction time in both congruent and incongruent parts of the flanker task. Control group significantly worsened in the accuracy of the flanker task in the congruent and incongruent trials but improved in the reaction time of the neutral part.

Between groups

A Kruskal–Wallis test revealed that only ΔIC showed significant results in the interference score of the Stroop Test ($\chi^2 (2) = 5.646$; $p = .05$). Bonferroni correction was applied in which a p-value < 0.017 was considered significant, but the post-hoc analysis did not reveal significant differences in the multiple comparison analysis, although a marginal result was observed as the BAS group had a better differential score compared to the CON group ($Z = -2.299$; p-value = .021; $r = -0.406$). In the flanker task, the accuracy of the congruent trials also revealed significant results ($\chi^2 (2) = 9.482$; $p = .009$); post-hoc analysis revealed again that the BAS group performed better than the CON group ($Z = -2.783$; p-value = .017; $r = -0.492$). These results are visually depicted in **Figure 12**.

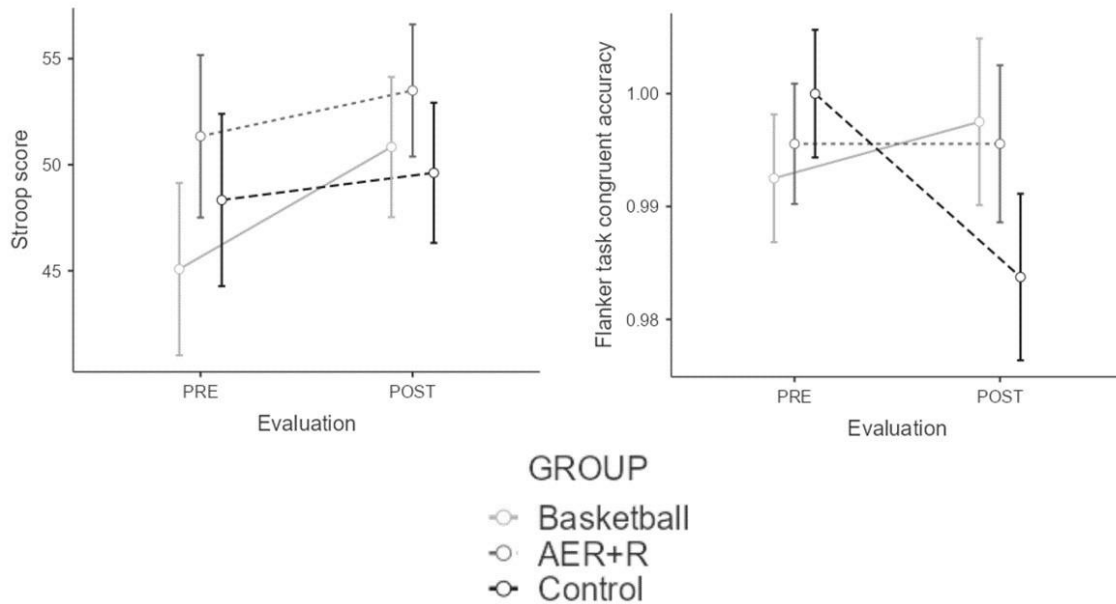


Figure 12. Significant differences between groups in Stroop test (left figure) and Flanker task (right image). Post-hoc analysis revealed that the basketball group improved significantly better than control group in the interference score of the Stroop test and the accuracy of the congruent trials in the flanker task.

Discussion

This study explored the differences among university students in the effects on EFs engaged in a four-month training PA program in uncertain environments with a high level of cognitive demands and those practicing PA without cognitive demands. One group practiced BAS, and the other followed an AER+R combined training program. A control group, which maintained low PA habits, was also included in the design. The BAS group showed improved IC and WM, while the AER+R group showed improved IC and CF. The control group showed deterioration in IC. Importantly, significant differences between groups were found only in IC, in line with the hypothesis.

Working memory

WM was assessed through the Letter and Number Test of the WAIS battery. Paired sample tests revealed that the BAS group improved significantly, while both the AER+R and CON groups did not have significant differences. Considering that previous studies had observed that AER improves WM (Colcombe & Kramer, 2003;

Ludyga et al., 2020), the finding that the AER+R group did not improve is surprising. Indeed, previous studies have shown that PA is associated with brain areas related to WM, and it has also been found that combined AER+R interventions improve WM significantly (Colcombe & Kramer, 2003; Quintero et al., 2018). It could be that this incongruence may be due to differences in the training programs, such as PA type or intensity. For instance, the resistance training program in Quintero et al., (2018) in which they observed that combined exercise improved WM, consisted of working at 50%–70% of one-repetition maximum, while our study also included isometric and explosive exercises.

Concerning the improvement in the BAS group, this result is similar to those of experimental studies performed in children that applied PA aimed at improving complex motor skills (Ludyga et al., 2018). This adds more evidence observed in cross-sectional and longitudinal studies of the relationship between motor domain and WM, in which it is hypothesized that the neural substrates involved in both movement and cognitively complex tasks are associated with this EF, especially when there is a preparation time before the task (see Ludyga et al., 2020) for more details in proactive control); this might explain the differences between the BAS and AER+R groups, although ANOVA tests revealed no significant differences between the groups.

Cognitive flexibility

The results revealed that only the AER+R group improved significantly, although not enough to yield significant differences between groups in the ANOVA analysis. This is surprising as it was hypothesized that the BAS group would improve significantly. According to Moen, Hrozanova and Stiles et al. (2018), goal-directed actions are the result of a comparison of the information stored in WM and the relevant experience that allows discrimination of what information is essential, followed by the application of IC in not reacting to information that could worsen the decision chosen. Players of a dynamic team sport, such as basketball, are constantly facing these situations (Mangine et al., 2014), so, again, it was expected that the BAS group would show significant improvement. However, the AER+R group was the only one to improve significantly. It has, however, been observed that regulating pace during a race or maintaining effort during an intense exercise requires maintaining and updating the objectives related to the exercise in WM (Antunes et al., 2015), so it seems that these physical tasks also have cognitive demands that could explain this result.

Inhibition control

IC was assessed through two different tests: the Stroop test (inhibition response) and the Flanker task (perceptual inhibition). Paired sample tests showed that both the BAS and AER+R groups significantly improved in IC, while the CON showed significantly worse performance on the flanker task. This EF was the only one showing significant differences between groups in the ANOVA analysis, as the benefits achieved in the BAS group were significantly better than those of both the AER+R and CON groups.

These results are in concordance with studies observing that PA intervention improves EFs significantly (Kramer et al., 2006). For instance, the study of Alvarez-Bueno et al., (2017) showed an increment improvement in IC after an intervention of chronic exercise. In the present study, the CON group was asked to maintain their low PA habits, and it was the only group whose performance significantly deteriorated, while the two experimental groups, BAS and AER+R, improved in both IC tests, which is in line with the literature, in which IC shows significant improvements after chronic aerobic exercise interventions (Alvarez-Bueno et al., 2017). Indeed, in both groups, AER was present and linked to elevated levels of brain-derived neurotrophic factors (BDNF; Schmolesky et al., 2013). However, in studies that included a combined AER+R intervention, despite showing greater improvement in IC, the effect size was somewhat smaller than ours (Quintero et al., 2018). According to Borst et al. (2002), combined physical interventions produce increased levels of IGF-1, which is related to BDNF in a different way and yields less improvement in IC than AER. Nevertheless, the effect size of the AER+R group was greater than that found in the literature, meaning that it is necessary to control the task-related factors and methodological interventions to achieve a consensus.

This EF was also the only one showing significant differences between groups, as the benefits achieved in the BAS group were significantly greater than those in both the AER+R and CON groups. These results are aligned with the reviews and meta-analyses showing inhibition as the EF most influenced by PA with cognitive engagement and reporting positive effects found in children and adults (Alvarez-Bueno et al., 2017; Ludyga et al., 2020). In fact, open-handed sports such as BAS can place higher demands on the individual's inhibitory skills because they need to rapidly inhibit predominant responses due to the spontaneous and unexpected actions of other players on the court (Ludyga et al., 2022; C. H. Wang, Chang, Liang, Shih, Chiu, et al., 2013;

C. H. Wang, Chang, Liang, Shih, Muggleton, et al., 2013). This supports the cognitive stimulation hypothesis, whereby interventions that include high levels of cognitive engagement and physical exertion are believed to have more substantial effects than physically demanding exercise with low cognitive engagement. It has also been shown in neuroimaging studies that performing open and complex motor skills, which require deeper information processing relative to simpler patterns, generates more consistent neuroplasticity changes (Carey et al., 2005). In this line, children who practice team sports tend to show greater development in the prefrontal areas. According to researchers, the cause could be in cooperation with teammates, which requires greater cognitive complexity (López-Vicente et al., 2017). Therefore, considering that the BAS participants were continuously stimulated with these cognitive abilities, the intervention may have promoted greater stimulation, which caused bigger benefits in IC compared with the other groups.

This result is not in line, however, with the recent meta-analysis done by Ludyga et al., (2020) who found no differences between mixed (PA with cognitive engagement) and endurance interventions. However, this observation has to be taken with caution, because only four studies among those included in the meta-analysis compared mixed exercise and endurance exercise, and the samples in three of them were composed of older adults (Antunes et al., 2015; Esmail et al., 2020) while one was with preadolescents (Schmidt et al., 2015). None were in young adults, as in our study. In any case, their results are not very enlightening; in none of the three studies carried out in older adults were differences between the interventions applied, although, in two of them, the training sessions improved EFs (Antunes et al., 2015; Esmail et al., 2020). In contrast, the study performed by Schmidt (2015) found only benefits in the mixed exercise group. This heterogeneity could be explained by the lack of control in the complexity of the tasks. As Antunes et al. (2015) stated, participants would need to exceed a minimum threshold of stimulation to facilitate cognitive processes and promote changes in the EFs. Indeed, after reviewing the programs that influence EFs, Diamond and Ling (2016) established that to find differences between the treatment and control groups, the tasks should require participants to use EF skills that are close to their limit. These demands affect both mixed and resistance exercise. In the study of Schmidt et al. (2015), and in ours, mixed exercises were designed to have a specific cognitive implementation.

Strengths, limitations, and practical applications

Although most of the variables were controlled, some aspects of the present study could be improved. Specifically, considering that the BAS group was submitted to training with constant attentional and decisional demands, and the difficulty of the tasks gradually increased (taking into account the level of the participants in each moment of the intervention period), it would have been convenient to measure participants' mental load at the end of each session. Two factors could have been responsible for the lack of stimulation: (1) the time per week dedicated to PA in this study was probably shorter than necessary; and (2) some EFs might not have improved because of the insufficient mental load presented in the sessions. Thus, future studies have to consider both an increment of the hours per week and measurement of each session's perceived mental load. Note also that the final study sample did not correspond with the output of the power analysis, so the conclusions of this study should be interpreted with caution. Nevertheless, we hope that this study contributes to the understanding of the benefits of PA for EFs and highlights the need for future studies to include a PA training program in which participants have to pay attention to external stimuli and make decisions. Finally, concerning the cognitive evaluation, the risk of using only one task for EF could lead to an impurity problem.

In conclusion, following a four-month PA training program, two hours per week was enough to enhance EFs in university students with low PA habits. It was also observed that in the PA with cognitive engagement proposed in this study (i.e., playing basketball) the improvements of EFs, particular IC, were more evident. This combined dual-task training in which the individual performs exercise and cognitive tasks simultaneously is common in most open sports, so it could be of interest to include this type of practice in future cognitive studies.

Conclusion

In conclusion, following a 4-month PA training program, 2 hours per week is enough to enhance the EFs in university students with low PA habits. Moreover, it has been observed that the improvements of EFs, specifically IC, are more evident in the PA with cognitive engagement proposed in this study (i.e. playing basketball). This combined dual-task training where the individual performs exercise and cognitive tasks simultaneously is common in mostly open sports, so it could be of interest to include this type of practice in future cognitive studies.

Estudio 3.2. Effects of a 4-month training program in basketball and fitness on prefrontal cortical structures in healthy university students

Introduction

Physical activity (PA) has benefits not only in physical health but also in brain health (Erickson et al., 2014; Northey et al., 2018). Several meta-analyses have systematically proved the positive influence of PA on cognition (Angevaren et al., 2008; Colcombe et al., 2003; Erickson et al., 2019). However, the underlying mechanisms by which PA exerts its effects on cognition are not fully understood, particularly in young adults. Among the different levels of mechanisms, central brain markers, such as brain structure (e.g., volume, cortical thickness or surface area), are critically relevant (Stillman et al., 2020).

Most studies in the context of PA have focused on brain volume of specific subcortical regions, such as the hippocampus (Aghjayan et al., 2021). However, there is an increasing interest in studying the effects of PA on specific cortical brain regions, such as the prefrontal cortex (PFC), which activates when an individual is performing an executive task (Colcombe et al., 2006; Erickson et al., 2010; Flöel et al., 2010; Voss et al., 2013). For example, Colcombe et al. (2006) found that a 6-month aerobic PA intervention improved VO₂ peak along with an increment in lateral PFC and parietal cortical volumes in older adults. Conversely, Jonasson et al. (2017) found no effects on PFC subregions after a 6-month aerobic PA intervention in older adults. Although similar relationships have been shown in studies in which they analyzed the whole brain, a previous meta-analysis found that the association between PA and PFC is more robust when using ROI-based methods than whole-brain computational methods (Yuan & Raz, 2014). In fact, the contradictory results may rely on the differential effect of PA on specific PFC subregions (Jonasson et al., 2017).

Collectively, it is important to differentiate which PFC subregions and in which metric (i.e., volume, cortical thickness and surface area) is prone to change by PA. Thus, this study focuses on four ROIs of the PFC: (1) dorsal prefrontal cortex (DPFC) which is involved in selecting and manipulating information in working memory (D'Esposito et al., 1999); (2) ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC), which is related to inhibitory

control, a key executive component referring to the ability to suppress cognitive and motor processes (Chavan et al., 2015); (3) medial prefrontal cortex (MPFC), in which is included the anterior cingulate cortex (ACC) and is involved in cognitive control, emotion regulation processes, long term memory and monitoring process (Botvinick et al., 2004; Richard-Devantoy et al., 2012); and (4) orbitofrontal cortex (OFC), which has been reported to regulate the planning of behaviours with reward and punishment (Bechara et al., 1994). In addition, different types of PA may exert differential effects on PFC subregions in young adults. Particularly, PA with cognitive engagement may have specific effects on PFC due to additional attentional requirements needed during PA performance (Ludyga et al., 2020).

Moreover, it has been suggested that the influence of aerobic fitness on cortical development may be further influenced by an individual's BDNF genotype (Herting et al., 2016). Nevertheless, it could be that only performing the aerobic exercise as a PA indicator or type of intervention is not enough to cause cortical changes. In this sense, the recent study by Müller et al. (2017) stated that PA interventions that require constant cognitive and motor learning are more efficient in inducing neuroplastic modifications rather than repetitive and cyclic activities, which are, in fact, the most commonly used to enhance aerobic fitness. This topic is also of interest in the cognition research area. In their meta-analysis with healthy adults, Ludyga et al. (2020) highlighted that performing a PA with cognitive and attentional requirements significantly affects cognitive variables. In this regard, researchers consider that dynamic team sports, such as basketball (BAS), which means performing a PA with cognitive engagement, may serve as an excellent context to improve cognition (Diamond & Lee, 2011) and, hence, possibly cortical changes as well. In addition, there is evidence that exposure to these conditions produces a considerable activation of neural circuits and structures of the PFC, greatly facilitating their development compared to exposure to contexts with poor or null interference or uncertainty (Cortis et al., 2011).

Another way to check whether aerobic exercise cannot be enough to induce changes in cortical structures is by combining it with resistance exercise. On this matter, a meta-analysis conducted by Colcombe et al. (2003) revealed that the most significant cognitive benefits were achieved when the PA intervention combined aerobic and resistance training, named concurrent training (AER+R). Interestingly, it has been reported in cognitive studies that this combination causes extensive improvements

rather than separately (Quintero et al., 2018). To the best of our knowledge, only one morphometry study conducted an intervention with 20 weeks of AER+R training, showing benefits in cognition but no significant changes in brain structures (Ortega et al., 2022). Perhaps there were no changes because of the sample characteristics (i.e. children), or the authors did not use the ROIs depicted above. Nevertheless, more studies are needed to elaborate explanations. Thus, it could be interesting to observe if the concurrent training also produces changes in cortical structures.

To the best of our knowledge, this is the first study to compare the effects on PFC subregions in young adults between a PA intervention that combines aerobic and resistance training, called concurrent training (AER+R), with another group whose intervention had cognitive engagement. Then, this study aimed to compare the effects of a 4-month training intervention based on a basketball group (BAS) with a concurrent training group (i.e. AER+R) in four different ROIs of the PFC (i.e. OFC, MPFC, DPFC, VLPFC) in university students. Consistent with the “bigger is better” view, we hypothesized that the BAS group will obtain a significant increment in the PFC subregions compared with the AER+R group, considering that BAS participants will exert aerobic effort and attention to external stimuli.

Methods

This study belongs to a national research project from which the results of some studies are already published. The sample, variables and procedure are already explained in the above section (**Estudio 3.1**). The aim was to observe the effects of the training in executive functions. Then, some parts of the methods section will not be explained because they are already depicted above, including here only new information.

Study design

A pre-post experimental study design was used to test the effects on cortical structural measures of the PFC. Two experimental groups followed a 4-month PA training program of 2 hours per week. In one of them, the participants followed a basketball training in which they were submitted to an environment with a high presence of external stimuli to attend to and continually making decisions. The other experimental

group followed a regular fitness training program. Moreover, there was a control group which have to maintain their physical activity levels.

Variables

MRI acquisition procedures

Anatomical high-resolution ($1 \times 1 \times 1$ mm) T1-weighted structural brain volumes were acquired for each participant using a three-dimensional Magnetization Prepared Rapid Gradient Echo Imaging protocol with 176 contiguous sagittal slices with the following parameters: Echo Time = 2.52 ms, Repetition Time = 1900 ms, a field of view = 256 x 256 mm, acquisition matrix = 256 x 256 mm, slice thickness = 1 mm and flip angle = 9° . Brain volumes were recorded using a 3T Siemens Magnetom Trio Tim equipped with 32 channels.

MRI analyses

Structural images processing

The MRI images were analyzed with FreeSurfer 6 (please see the supplementary information for more details). Once quality control checks had been done, Freesurfer registered all vertices at individual gyrus/sulcus levels to get an individualized measurement of volume, area and surface (i.e., cortical thickness) based on personally modelled brain morphometry and grey matter boundary contours. As suggested in previous studies which tested a variety of full width at half maximum sizes in different sample sizes (Jollant et al., 2005; Shen & Sterr, 2013), data were smoothed using 20 mm full width at half maximum Gaussian kernel in surface space to maximize sensitivities toward smaller clusters of structural differences. Previous suggestions about the quality control of the analyses (i.e. Euler) were followed and scans with a left-right hemispheres mean with an Euler number above 217 were excluded (Nadig et al., 2021; Rosen et al., 2018).

According to our hypotheses, four region-of-interest (ROI) was selected, increasing the statistical sensitivity. Those ROIs (depicted in **Figure 13**) have been previously reported to have differences in brain connections (Saleem et al., 2014) and functional roles in valuation processes and cognitive control (Banich & Depue, 2015; Dixon & Christoff, 2014). Thus, the four ROIs are: (1) OFC; (2) VLPFC; (3) MPFC; in which

ACC is included; and (4) DPFC. The average of all measures within each ROI was used.

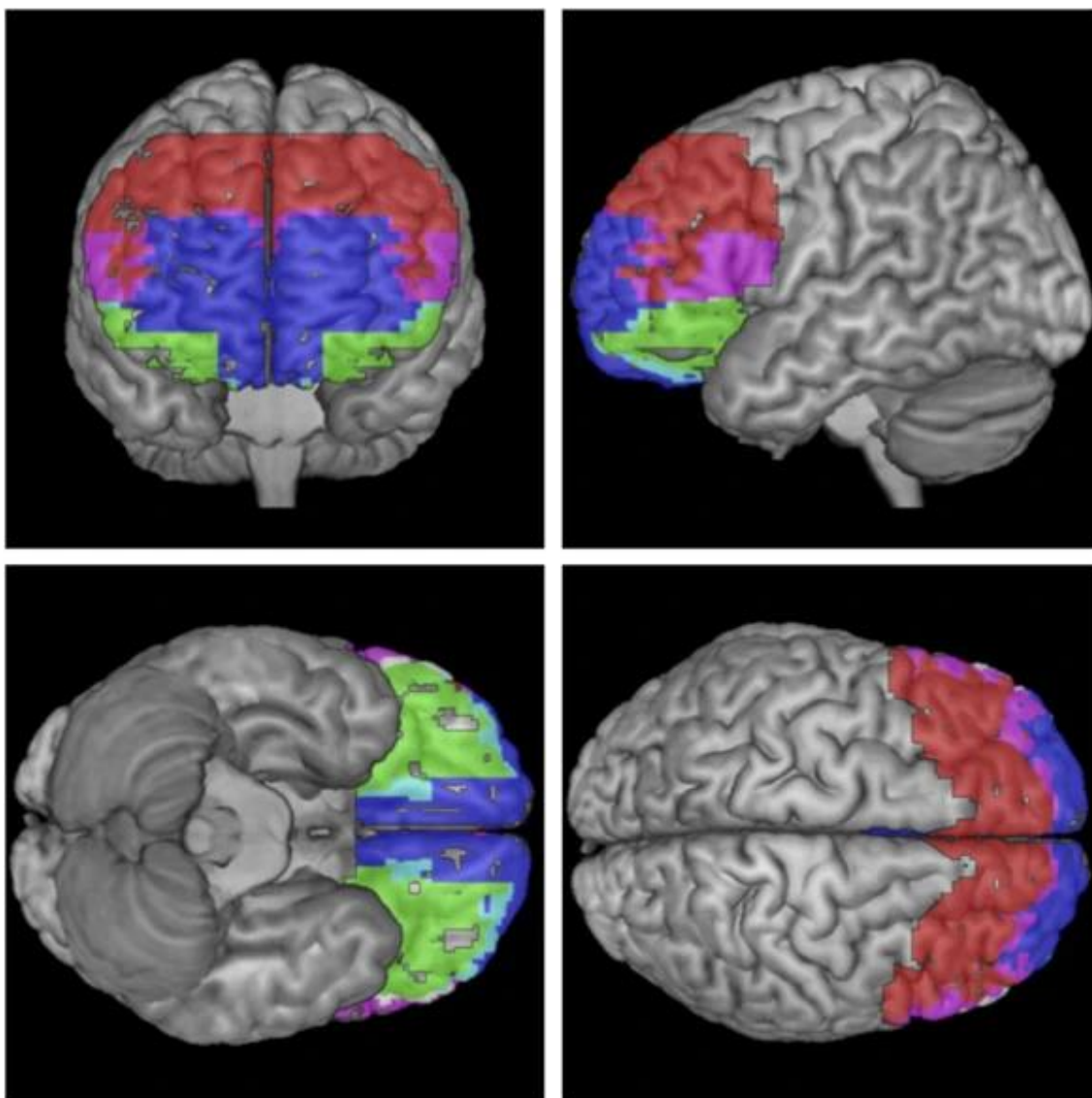


Figure 13. Representation of the four regions-of-interest of the prefrontal cortex examined in this article. Blue: medial prefrontal cortex (MPFC; including anterior cingulate cortex, not shown); red: dorsal prefrontal cortex (DPFC); green: orbitofrontal cortex (OFC); violet: ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC). VBM, voxel-based morphometry.

Statistical analysis

Data summaries were computed for the whole sample. Firstly, a Shapiro-Wilk normality test was conducted for the whole variables of interest. Secondly, paired-sample analysis

was performed in each ROI to observe the effect group in cortical structures. Lastly, to fulfil the study's objective, a differential score of every ROI was calculated (e.g. Δ OFC, Δ VLPFC, etc.) to check if there were significant differences between groups. The statistical test was systematically controlled for intracranial volume (Buckner et al., 2004).

The significance level was set at .05, and the Tukey correction for multiple comparisons was used where applicable. The standardized effect size was reported by employing the η^2 for between-groups analysis and d in post-hoc and paired-samples analysis. Likewise, r was used for the Wilcoxon paired-sample test, which formula is z/\sqrt{n} where z is the z-statistic and n is the number of observations. η^2 is based on Cohen's f , which defines small, medium and large as of 0.0099, 0.0588, and 0.1379, and both d and r use Cohen's interpretation guidelines of 0.1 (small effect), 0.3 (moderate effect) and above 0.5 as a strong effect. The JASP statistics package (version 0.16.1) was used for the analysis conducted.

Results

Means and standard deviations for sociodemographic variables and fitness performance are displayed in **Table 5**. No significant differences between groups were observed in age, BMI, PA habits, fitness performance and structural measures of the PFC (i.e. OFC; VLPFC; MPFC; DPFC). Moreover, after every session, all participants reported their effort perception rate (RPE), which also was not significantly different between groups.

Table 5. Summary descriptive statistics for the variables of the study.

Variable	Basketball		AER+R		Control	
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD
Age	24.19	3.16	23.72	3.02	24.19	2.99
BMI	23.36	3.11	23.37	1.97	22.21	2.61
VO2 max PRE	44.48	4.99	37.72	9.36	40.39	6.91
VO2 max POST	48.125	4.54	44.70	8.61	40.34	7.73
Biceps strength PRE	15.39	5.12	13.41	5.32	13.51	5.45
Biceps strength POST	15.24	4.73	14.87	4.91	14.38	5.19
Quadriceps strength PRE	44.74	25.86	35.37	26.46	53.03	28.47
Quadriceps strength POST	64.32	23.95	60.28	22.78	65.68	28.58

Note: SD: Standard deviation; AER+R: experimental group which follow a 4-month training programme of aerobic and resistance exercises combined.

ROI analyses - Group effect

While CON group did not have significant differences, both BAS and AER+R groups had significant increments in different ROIs. BAS group significantly improved in VLPFC right hemisphere cortical volume ($Z = -2.329$; $p = 0.020$; $r = 0.62$), MPFC left hemisphere cortical thickness ($Z = -2.215$; $p = 0.027$; $r = 0.571$) and in total VLPFC cortical thickness ($Z = -2.329$; $p = 0.020$; $r = 0.62$). Regarding AER+R group, there were significant improvements in VLPFC left hemisphere cortical volume ($t = -2.568$; $p = 0.019$; $d = 0.589$), MPFC left hemisphere surface area ($t = -3.975$; $p < 0.001$; $d = 0.912$) and DPFPC left hemisphere surface area ($t = -3.512$; $p = 0.002$; $d = 0.806$). A visual representation of these results is depicted in **Figure 14**.

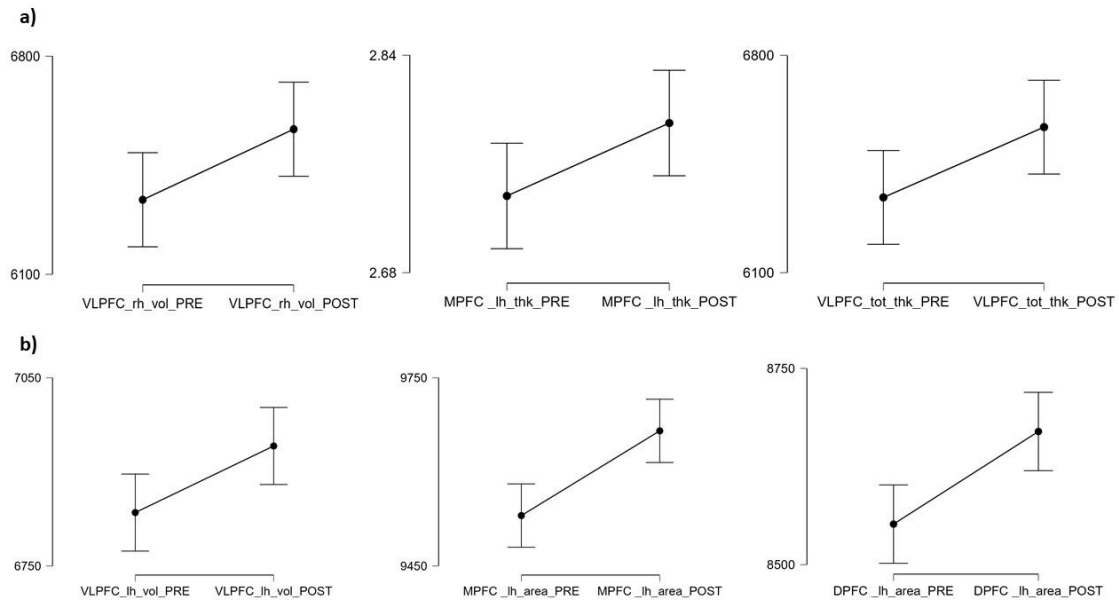


Figure 14. Significant increments in the basketball (a) and concurrent training (b) groups in the ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC), middle prefrontal cortex (MPFC) and dorsal prefrontal cortex (DPFC). Control group did not get significant changes.

ROI analyses - Between groups

Group effect analysis revealed that there were significant differences in Δ MPFC left hemisphere surface area ($H = 9.255$; $p = 0.010$; $\eta^2 = 0.154$); in both Δ VPFC right hemisphere cortical volume ($F = 3.284$; $p = 0.046$; $\eta^2 = 0.123$) and in total cortical thickness ($F = 3.284$; $p = 0.046$; $\eta^2 = 0.123$); and finally in both Δ DPFC total cortical volume ($H = 6.126$; $p = 0.047$; $\eta^2 = 0.089$) and left hemisphere surface area ($H = 7.722$; $p = 0.021$; $\eta^2 = 0.122$).

According to the post-hoc analysis of these significant results, BAS ($Z = -1.957$; $p = 0.049$; $r = 0.352$) and AER+R ($Z = -3.310$; $p = 0.001$; $r = 0.559$) groups significantly improved in comparison with CON group in Δ MPFC. Regarding Δ VPFC, BAS group had a marginal significant improvement in comparison with AER+R ($t = 2.305$; $p = 0.065$; $d = 0.796$) and CON ($t = -2.183$; $p = 0.085$; $d = 0.785$). Lastly, Δ DPFC showed that BAS and AER+R improved more significantly in comparison with CON in both total cortical volume (BAS group: $Z = -1.977$; $p = 0.049$; $r = 0.356$; AER+R group: $Z = -2.285$; $p = 0.022$; $r = 0.387$) and left hemisphere surface area (only significant in AER+R group: $Z = -2.782$; $p = 0.005$; $r = 0.472$). These results are visually depicted in

Figure 15 and **Table 6**.

Table 6. Region of interest analysis between groups.

Regions	Measures	Side	ANOVA/Kruskal Wallis test		
			F/H	P	η^2
Δ Orbitofrontal cortex (OFC)	Cortical volume	Left*	0.764	0.683	0.026
		Right	1.158	0.323	0.047
		Both included*	0.644	0.725	0.029
	Surface area	Left	0.890	0.417	0.037
		Right*	1.892	0.388	0.002
		Both included*	2.126	0.345	0.003
	Cortical thickness	Left*	1.601	0.449	0.009
		Right*	1.568	0.457	0.009
		Both included	1.158	0.323	0.047
Δ Medialprefrontal cortex (MPFC)	Cortical volume	Left	0.802	0.455	0.033
		Right*	2.045	0.360	0.001
		Both included*	2.703	0.259	0.015
	Surface area	Left*	9.255	0.010	0.154
		Right	0.264	0.769	0.011
		Both included	1.558	0.221	0.062
	Cortical thickness	Left*	3.037	0.219	0.022
		Right	2.286	0.113	0.089
		Both included*	2.045	0.360	0.001
Δ Ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC)	Cortical volume	Left*	2.997	0.223	0.021
		Right	3.284	0.046	0.123
		Both included	0.156	0.856	0.007
	Surface area	Left*	1.814	0.404	0.004
		Right*	4.909	0.086	0.062
		Both included*	0.792	0.673	0.026
	Cortical thickness	Left*	0.102	0.950	0.040
		Right	2.012	0.145	0.079
		Both included	3.284	0.046	0.123
Δ Dorsal prefrontal cortex (DPFC)	Cortical volume	Left*	3.845	0.146	0.039
		Right*	5.624	0.060	0.077
		Both included*	6.126	0.047	0.089
	Surface area	Left*	7.722	0.021	0.122
		Right	0.358	0.701	0.015
		Both included*	0.840	0.657	0.025
	Cortical thickness	Left*	0.062	0.969	0.041
		Right*	1.631	0.442	0.008
		Both included*	5.624	0.060	0.077

Note: Δ : Differential score post-intervention minus pre-intervention; *Non-parametric test used.

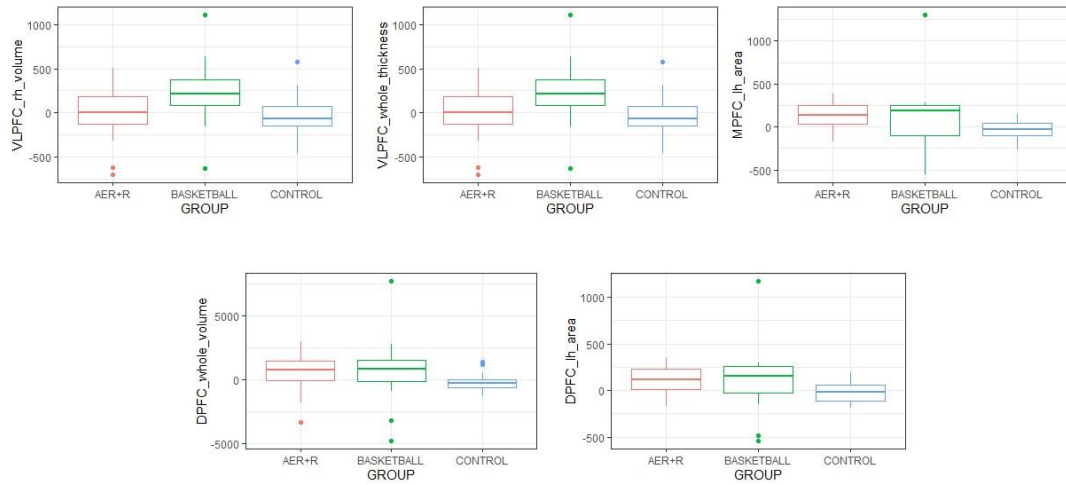


Figure 15. Significant differences between groups in the increment of ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC), middle prefrontal cortex (MPFC) and dorsal prefrontal cortex (DPFC).

Discussion

This brain morphometry study aimed to compare the differences of a 4-month training of different physical activity (PA) types on cortical changes of four ROIs: MPFC, DPFC, VLPFC and OFC. Specifically, one group practised basketball (BAS), a PA with a high level of cognitive engagement in uncertain environments. The second group followed a combined training program of aerobic and resistance exercise (AER+R). Lastly, a control group (CON) maintained their low levels of PA during the four months. The results showed that both PA groups had a significant increment in all ROIs except for OFC, while CON did not have any significant result. Likewise, the between-groups analysis showed that both PA groups had a significant increment in MPFC and DPFC compared to CON, while only BAS had a marginal significant increment in VLPFC ($p = 0.065$).

These results are in line with other studies in which the benefits of PA in the whole brain have been observed, such as Gondoh et al. (2009) and Northey et al. (2020). They observed that moderate aerobic exercise induces changes in adults'

regional brain morphology and brain volume. However, Colcombe et al. (2006), in a 6-month aerobic exercise intervention with older and young adults, found a significant increment in brain structures compared to a non-aerobic control group in older adults, but not in the young adult sample similar to ours (18-30 years). This incongruence could be explained by: (1) in the case of the BAS group because, as Müller et al. (2017) pointed out, conducting a PA that requires constant cognitive and motor learning is more efficient in inducing cortical changes rather than repetitive physical exercises; (2) and in the case of AER+R improved because it could be that only performing aerobic exercise is not enough in some populations to produce cortical changes. However, more studies are needed to clarify this reasoning.

Regarding the ROIs results, in both Δ DPFC total cortical volume and left hemisphere surface area and Δ MPFC left hemisphere surface area, post hoc analysis revealed that the two groups of PA (i.e. BAS and AER+R) significantly increased in comparison with CON. Evidence shows that these regions are particularly sensitive to PA (Northey et al., 2020). Note that this result has been reported in several studies of aerobic fitness (Erickson & Kramer, 2009; Weinstein et al., 2012) or epidemiological studies which utilize self-report measures of PA (Benedict et al., 2013; Bugg & Head, 2011; Erickson et al., 2010; Flöel et al., 2010; D. Head et al., 2012; Kooistra et al., 2014). Additionally, cross-sectional studies indicated that aerobic fitness had a positive relationship with cortical thickness in DPFC and ACC (included in MPFC; Colcombe et al., 2003; Flöel et al., 2010; Weinstein et al., 2012). This effect could be explained by increased neurogenesis (Van Praag, 2008, 2009) or angiogenesis (Pereira et al., 2007) as a function of aerobic fitness improvement. However, our results differ from the study of Jonasson et al. (2017), which consisted in completing a 6-month aerobic training intervention with 60 sedentary adults (64-78 years). Their study did not observe a direct effect of the intervention on cortical thickness in DLPFC, VLPFC or MPFC. In another study by Ortega et al. (2022) with children, they neither found cortical changes after applying an AER+R training for 20 weeks. Of course, a possible explanation is that the group age of our sample and theirs are not the same. However, it is necessary to conduct several studies with different PA training programs to observe if the incongruence found in the research topic is because of the PA training intervention or if other variables mediate cortical changes. To the best of our knowledge, this study is the first

one in which concurrent training was applied to observe cortical changes in these specific ROIs in young adults (i.e. university students).

Interestingly, although this result has to be taken with caution because the level of significance was marginal ($p = 0.065$), the authors found that BAS was the only group that significantly augmented Δ VLPFC compared to the AER+R and CON groups. Indeed, this ROI included the pars triangularis, orbitalis and opercularis, which are related to inhibitory control, a critical executive component referring to the ability to suppress cognitive and motor processes (Chavan et al., 2015). It is very stimulated in this kind of activity in which individuals perform a PA with a lot of cognitive engagement and uncertainty (Cross et al., 2007; Diamond & Lee, 2011). The situations generated in this type of sport are complex due to their great dynamism, their temporal restrictions, and the high number of stimuli to which to pay attention, which ensures a mental commitment (Cortis et al., 2011). These sports demand the athletes, besides a high physical effort, to pay attention to the continually changing environment to perceive the information needed to make a decision (e.g., to observe the movements of teammates and opponents) and execute it (Mangine et al., 2014; Moen, Hrozanova, & Pensgaard, 2018). Although there is no evidence regarding the brain areas involved in team sports participation in young adults, López-Vicente et al. (2017) conducted a study that compares cortical structures with sports participation in children. They suggest that prefrontal areas may be more developed in children enrolled in team sports because cooperation with teammates requires a higher cognitive complexity. Thus, BAS participants' increased brain areas could have been due to continuous cognitive function stimulation.

Lastly, no significant results were observed in Δ OFC. The authors believed that since team sports could stimulate specific brain areas involved in regulative ability concerning rewards and punishment (Bechara et al., 1994), BAS participants would have a significant increment in this ROI. Yuan and Raz (2014), in a meta-analysis of PFC and executive functions in healthy adults, stated that the performance on executive functions tests was significantly related to lateral and medial PFC but not to OFC. Despite being in permanent stimulation and incrementing the Δ VLPFC, this training intervention did not stimulate the OFC enough to produce changes in our study.

Limitations and practical applications

Even though some meta-analyses pointed out that the use of ROI-based methods shows more substantial effects rather than whole-brain computational methods in studies of the PFC cortex and PA relationship (Yuan & Raz, 2014), it could be that the ROIs used in this study were large, therefore reducing the possibility to detect more localized differences. However, it could be that some interesting results are lost because of not using it, so future studies should use VBM analysis as well. Lastly, this study suggests the benefits of PA in brain structure, considering the changes in cortical thickness, surface area and volume. However, it could have been interesting to include a brain-derived neurotrophic factor (BDNF) analysis due to its importance in exercise's influence on brain structure (for review, see Cotman et al., 2007; Herting et al., 2016; Van Praag, 2008, 2009).

Nevertheless, the authors hoped this study would provide information about applying different PA methodologies to increase cortical structures and the importance of including highly cognitive demanding activity as sports like basketball. Additionally, the participants of this study were healthy young adults studying at a university with low PA habits, so probably these effects could be replicated in other individuals and be used to elaborate population-based guidelines.

Conclusion

Following a 4-month PA training program, 2 hours per week is enough to increase cortical prefrontal structures in university students with low PA habits. Moreover, when PA training stimulates individuals cognitively in uncertain and attentional-enriched environments such as basketball, there are improvements in the ventrolateral prefrontal cortex.

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN

RESUMEN DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS

La presente Tesis Doctoral Internacional tuvo como objetivo principal observar el efecto de realizar ejercicio físico (EF) con presencia de carga mental sobre el rendimiento cognitivo (i.e. funciones ejecutivas; FEs), la morfología de las estructuras cerebrales y el rendimiento deportivo. Para ello, se llevaron a cabo un total de 3 estudios experimentales, de los cuales dos fueron de corte transversal y uno siguió un diseño longitudinal con una intervención de 4 meses de entrenamiento.

En cuanto al rendimiento deportivo, en el primero de los dos estudios de efecto agudo, se sometió a jugadores expertos semi-profesionales de fútbol a realizar una doble tarea y ver su efecto en su precisión en el pase. Se observó que el aumento de las demandas de actualización y mantenimiento de la información en la memoria de trabajo deterioraba su precisión. A su vez, los resultados mostraron que la frustración y ansiedad que les causaba la tarea también deterioraba el rendimiento.

El segundo estudio de efecto agudo se pretendía manipular sólo la carga emocional en una tarea carente de estímulos cognitivos, como es el tiro libre en baloncesto, en jugadores expertos no profesionales de baloncesto. Los resultados mostraron que no hubo diferencias significativas en el porcentaje de acierto entre las tres condiciones y sí en la puntuación total obtenida en cada condición, como era de esperar, aunque esto implica que aquellos lanzamientos que tienen un mayor peso emocional causan que tengan un peor rendimiento.

En lo referente al rendimiento cognitivo, se ha observado que la práctica de EF conduce a un mejor rendimiento en las FEs (aunque en el grupo fitness sólo se observó una mejora en flexibilidad cognitiva), siendo mayor, especialmente en el control inhibitorio, si dicho EF tiene componentes cognitivo-emocionales que aumenten la carga mental de la tarea. También se apreciaron cambios estructurales en el córtex prefrontal del cerebro. En concreto, se ha observado mediante resonancia magnética un aumento de la zona dorsal, medial y ventrolateral, cuando el EF conlleva una carga mental.

BREVE DISCUSIÓN DE LOS PRINCIPALES HALLAZGOS CON REFERENCIA A LA LITERATURA RELACIONADA Y SUS POSIBLES APLICACIONES

1. Rendimiento deportivo

1.1. La carga mental deteriora la precisión del pase en jugadores de fútbol (Estudio 1).

En este estudio la participación de jugadores expertos en fútbol en una doble tarea permitió observar una reducción del rendimiento motor, concretamente de la precisión del pase, como consecuencia de la presencia de carga mental. En la literatura se había observado que, en jugadores expertos, provocar situaciones que les obliguen a utilizar recursos atencionales no les condicionaría a un peor rendimiento debido a que la ejecución motriz está automatizada (Koedijker et al., 2011). Sin embargo, el estudio 1 de la presente Tesis ha mostrado que la presencia de carga mental en la tarea ha provocado una precisión del pase significativamente peor. Es posible que este resultado se haya debido a que los participantes realizaron como tarea secundaria el 2-back, la cual es reconocida por ser moderadamente exigente (Owen et al., 2005), y no coincida entonces con los estudios anteriores por la diferente magnitud de la carga mental resultante, pudiendo ser insuficiente y no suponer un conflicto con la tarea secundaria. Esto va en línea con la teoría del punto de desafío (del inglés “Challenge point framework”), propuesto por Guadagnoli y Lee (2004) y probado experimentalmente por Akizuki y Ohashi (2015). Según esta teoría, el aprendizaje está directamente relacionado no con la dificultad nominal de la tarea (la cantidad constante de dificultad de la tarea, independientemente de quién y en qué condiciones la esté realizando) sino con la dificultad funcional de la tarea (cuánto de desafiante es la tarea considerando el nivel de habilidad del individuo que la realiza y las condiciones en las que se lleva a cabo). Por tanto, se puede extraer de este estudio que el control de la cantidad y tipo de información que el jugador debe afrontar durante las acciones de juego va a tener una repercusión inmediata en sus acciones de precisión, por lo que se espera que esta información sea de ayuda para los entrenadores y preparadores físicos para optimizar el proceso de planificación y control del entrenamiento, gracias a la inclusión de la carga mental.

1.2. Intraocular Pressure as an Indicator of the Level of Induced Anxiety in Basketball (Estudio 2).

Dentro de la doble dimensión que tiene la carga mental, en este estudio se pretendió manipular sólo la dimensión emocional en una tarea exenta de carga cognitiva, como es el tiro libre en baloncesto. Los niveles de ansiedad mostraron que efectivamente la manipulación en la puntuación fue la suficiente como para que existieran diferencias significativas entre las condiciones (Wilson et al., 2009). La muestra, compuesta por jugadores expertos no profesionales, no tuvieron un peor desempeño atendiendo a su porcentaje de tiro, aunque sí había diferencias significativas en la puntuación obtenida, como era de esperar desde un principio. Esto puede estar respaldado por estudios previos que han informado que los jugadores experimentados exhiben un mayor funcionamiento ejecutivo, incluido el autocontrol, para evitar el impacto negativo de la ansiedad sobre el rendimiento, lo que les permitió mantener el porcentaje entre las tres condiciones (Englert et al., 2015; Englert y Taylor, 2021; Jacobson y Matthaeus, 2014). De hecho, si nos apoyamos en el modelo de ansiedad y desempeño perceptivo-motor de Nieuwenhuys y Oudejans (2017), los jugadores palían su ansiedad empleando un esfuerzo mental adicional con el objetivo de mantener la efectividad del desempeño. En definitiva, en períodos de alta ansiedad, se ha propuesto que los recursos atencionales y cognitivos disponibles son limitados y pueden conducir a un procesamiento menos automático y con más esfuerzo. En conjunto, estas pruebas destacan la importancia del control de la ansiedad en los escenarios deportivos. Consideramos que los tipos de manipulación de la ansiedad utilizados en el presente estudio podrían ser implementados por entrenadores en colaboración con psicólogos deportivos durante las sesiones de entrenamiento porque pueden permitir mejorar el autocontrol y la eficiencia de procesamiento y, por lo tanto, el rendimiento de los jugadores en situaciones reales de juego. Sin embargo, se necesita más evidencia para determinar si la manipulación de la ansiedad propuesta durante las sesiones de entrenamiento puede permitir mejorar el rendimiento en contextos reales de juego.

2. Rendimiento cognitivo e indicadores de rendimiento académico

2.1 Basketball training overcome the cognitive benefits of an endurance and resistant combined training regimen (Estudio 3)

En una muestra de jóvenes universitarios con pocos hábitos de EF, se observó que realizar una intervención de 2 horas a la semana, divididas en dos sesiones a la semana, produce un incremento significativo en las funciones ejecutivas. Estos resultados coinciden con otros estudios donde se aplica una intervención de EF, como el estudio de Alvarez-Bueno et al., (2017), donde se observó un incremento en el control inhibitorio. Asimismo, los resultados mostraron que el grupo que realizó baloncesto obtuvo un significativo mejor rendimiento en el control inhibitorio con respecto a los demás grupos. Esto señala que los beneficios son superiores al realizar EF que tenga implicaciones cognitivas (Alvarez-Bueno et al., 2017), coincidiendo con los meta-análisis más recientes (Ludyga et al., 2020). Estas funciones ejecutivas están relacionadas con rendimiento académico (Cortés-Pascual et al., 2019), por lo que es de esperar que fomentar este tipo de práctica en los centros educativos puede beneficiar a los alumnos a obtener mejores calificaciones, al igual que tener una mayor capacidad para tomar mejores decisiones en contextos deportivos.

2.2. A 4-month training program in basketball and fitness increases prefrontal cortical structures in healthy university students (Estudio 3).

Se aplicaron técnicas de análisis de neuroimagen en la muestra del estudio descrito anteriormente para observar si también se pueden producir modificaciones en el tamaño de las estructuras cerebrales, concretamente en la zona prefrontal, pues está relacionada con las FEs. Al igual que con las FEs, se observó que los grupos experimentales que practicaron EF mostraron un aumento significativo, en comparación con el grupo control, en la zona dorsal y medial del córtex prefrontal, tal y como se ha descrito en otros estudios en los que han visto que tienen una relación con la capacidad aeróbica (Colcombe et al., 2003; Flöel et al., 2010; Weinstein et al., 2012). Sin embargo, existen algunos estudios donde se realiza una intervención de EF que no siguen la misma línea de resultados que el de esta Tesis, como el de Jonasson et al. (2017) y Ortega et al. (2022). La falta de coincidencia podría deberse a que los grupos de edad son distintos, siendo el de esta Tesis, que sepamos, el único estudio con jóvenes adultos acerca de esta

región cerebral. Asimismo, se ha observado también que el grupo de baloncesto es el que tiene de forma significativa un mayor incremento en la parte ventrolateral, con respecto a los demás grupos. Esta región está vinculada con el control inhibitorio, y se ha observado que se estimula mucho en este tipo de actividad en la que los individuos realizan un EF con mucho requerimiento cognitivo en entornos de elevada incertidumbre (Cross et al., 2007; Diamond y Lee, 2011). Los autores esperan que este estudio proporcione información sobre la aplicación de diferentes metodologías de EF para aumentar las estructuras cerebrales y la importancia de incluir actividades altamente cognitivas mediante la práctica de deportes como el baloncesto. Además, viendo los resultados obtenidos con esta muestra, es plausible que estos efectos se repliquen en otros individuos y puedan usarse para elaborar pautas sobre hábitos de vida saludable salud y EF en la población general.

LIMITACIONES Y FORTALEZAS

Limitaciones

La presente Tesis Doctoral Internacional presenta varias limitaciones que deben ser discutidas. Respecto al estudio 1, haber incluido una condición con una carga mental menos demandante en el diseño, como el 1-back o una oddball, podría haber explicado mejor qué ha ocurrido y cómo varía el rendimiento deportivo según la cantidad de recursos atencionales empleados por el jugador. En el estudio 2, los presentes hallazgos se han obtenido en condiciones controladas y con niveles discretos de ansiedad inducida, pero no durante una situación real de competición donde las demandas físicas y mentales se superponen de manera impredecible. Sobre el estudio 3, aunque los últimos meta-análisis han mostrado que las FEs son indicadoras de forma indirecta del rendimiento académico (Cortés-Pascual et al., 2019) en esta investigación no se ha medido directamente (e.g. calificaciones en una materia). Sería recomendable que en futuros estudios de EF con carga mental incluyan también comprobar su efecto sobre el rendimiento académico, sobre todo en etapas sensibles como la adolescencia. Además, en el estudio 3 hubiera sido conveniente medir la percepción de carga mental de cada individuo al terminar el entrenamiento, pues podría explicar porque sólo el grupo de fitness obtuvo una mejora significativa en flexibilidad cognitiva más allá de que la

práctica de baloncesto no estimula dicha FE (contraria a nuestra hipótesis inicial), interpretándose de la siguiente manera: (1) el tiempo de EF a la semana no era suficiente; (2) la carga mental no fue lo suficientemente grande como para estimular a todas las FEs. En cualquier caso, habría sido conveniente que el tamaño de la muestra hubiera sido un poco más alto al terminar la intervención, por lo que estos resultados deben tomarse con cautela.

Fortalezas

La principal fortaleza de esta Tesis Doctoral Internacional es el control metodológico que se ha seguido sobre las variables mentales, gran limitante presente en la literatura que ha dado lugar a resultados incongruentes. Este control exhaustivo de las condiciones físicas, cognitivas y emocionales que pudieran mermar el control de los objetivos planteados se garantiza en los diferentes estudios. También consideramos que esta Tesis tiene una aplicación directa, además de en el contexto deportivo, en la sociedad en general al dar un paso más sobre los beneficios que tiene el EF cuando se incluye carga mental, por lo que es recomendable realizar EF bajo la supervisión de un graduado en Ciencias del deporte que tenga también conocimiento sobre manipular la carga cognitiva y emocional.

FUTURA DIRECCIÓN DE LAS PRÓXIMAS INVESTIGACIONES

Atendiendo a los resultados de esta tesis, donde se pone de manifiesto la manipulación de la carga mental dentro de un contexto deportivo, el siguiente paso sería ahondar en cómo repercuten las variables contextuales (espaciales, temporales y motrices) sobre las FEs controlando las variables externas. En primer lugar, sería necesario manipular de manera sistemática tanto la carga física como la carga mental implícita de la tarea, y tener una verificación de dicha manipulación. Esto no ocurre en la mayoría de estudios, en los que se comparan dos actividades completamente distintas (Benzing et al., 2016) sin ninguna medida externa que verifique que las tareas tienen diferentes grados de carga física y/o mental. Según Rueda et al., (2016) una de las claves es tener un control externo de la dificultad cognitiva de la tarea que se ajuste en cada momento a las capacidades reales de la persona, o dificultad funcional si nos apoyamos en el marco del "challenge point" mencionado arriba. En cambio, en la mayoría de estudios se han

comparado los valores medios entre grupos, obviando las ganancias individuales. No obstante, los resultados tras los periodos de entrenamiento entre participantes en ocasiones difieren mucho (Könen y Karbach, 2015), por lo que sería fundamental tener en consideración las diferencias individuales (Buttelmann y Karbach, 2017). En definitiva, estos antecedentes señalan la importancia de ajustar la carga mental de la tarea de forma individual para que ésta signifique constantemente un reto y un desafío para el participante. Según Tomporowski et al., (2011) si esto se consigue, estas condiciones promueven la aparición y desarrollo de las FEs pues el individuo se encuentra en su zona óptima de aprendizaje (Akizuki y Ohashi, 2015; Guadagnoli y Lee, 2004).

CONCLUSIONES

De esta Tesis Doctoral Internacional podemos concluir que:

1. En jugadores semi-profesionales, la presencia de carga mental en las tareas de entrenamiento, con exigencias tanto cognitiva como de regulación emocional, produce una disminución del rendimiento en la ejecución propia de su deporte. Este efecto es evidente tanto cuando se les somete a demandas de actualización y mantenimiento de la información en la memoria de trabajo, como cuando aumenta su nivel de frustración y ansiedad.
2. Cuando se somete a jugadores expertos no profesionales a distintos niveles de carga emocional, consiguen mantener su porcentaje de rendimiento, aunque las probabilidades de errar aumentan cuanto mayor sea la repercusión de la acción sobre el rendimiento.
3. Seguir un programa de EF de 4 meses y 2 horas semanales, es suficiente para potenciar las FEs y aumentar el tamaño del córtex prefrontal en estudiantes universitarios con bajos hábitos de EF.
4. Realizar un EF con presencia de carga mental en entornos con altos niveles de incertidumbre, como jugar al baloncesto, mejora el rendimiento cognitivo, concretamente el control inhibitorio y tiene un reflejo estructural en el aumento del córtex prefrontal.

CONCLUSIONS

From this International Doctoral Thesis we can conclude that:

1. In semi-professional players, the presence of mental load in training tasks, with both cognitive and emotional regulation demands, produces a decrease in performance in the execution of their sport. This effect is evident when they are subjected to demands of updating and maintaining information in working memory, and when their level of frustration and anxiety increases.
2. When non-professional expert players are subjected to different levels of emotional load, they manage to maintain their performance percentage, although the probability of error increases the greater the impact of the action on performance.
3. Following a physical exercise (PE) program of 4 months and 2 hours per week is enough to enhance EFs and increase the size of the prefrontal cortex in university students with low PE habits.
4. Performing a PE with the presence of mental load in environments with high levels of uncertainty, such as playing basketball, improves cognitive performance, specifically inhibitory control, and has a structural reflection in the increase in the prefrontal cortex.

REFERENCIAS

- Acevedo, E. O., y Ekkekakis, P. (2006). *Psychobiology of physical activity*. Human Kinetics.
- Aghjayan, S. L., Lesnovskaya, A., Esteban-Cornejo, I., Peven, J. C., Stillman, C. M., y Erickson, K. I. (2021). Aerobic exercise, cardiorespiratory fitness, and the human hippocampus. *Hippocampus*, 31(8), 817–844.
- Akizuki, K., y Ohashi, Y. (2015). Measurement of functional task difficulty during motor learning: What level of difficulty corresponds to the optimal challenge point? *Human Movement Science*, 43, 107–117.
- Alarcón, F., Ureña, N., Castillo, A., Martín, D., y Cárdenas, D. (2017). Las funciones ejecutivas como predictoras del nivel de pericia en jugadores de baloncesto. *Revista de Psicología Del Deporte*, 26(1), 71–74.
- Allen, A. P., Kennedy, P. J., Cryan, J. F., Dinan, T. G., y Clarke, G. (2014). Biological and psychological markers of stress in humans: Focus on the Trier Social Stress Test. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 38, 94–124.
- Alvarez-Bueno, C., Pesce, C., Cavero-Redondo, I., Sanchez-Lopez, M., Martínez-Hortelano, J. A., y Martínez-Vizcaino, V. (2017). The effect of physical activity interventions on children's cognition and metacognition: A systematic review and meta-analysis. *Journal of the American Academy of Child & Adolescent Psychiatry*, 56(9), 729–738.
- Alves, C. R. R., Gualano, B., Takao, P. P., Avakian, P., Fernandes, R. M., Morine, D., y Takito, M. Y. (2012). Effects of acute physical exercise on executive functions: a comparison between aerobic and strength exercise. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(4), 539–549.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J. J., Aleman, A., y Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 2.
- Antunes, H. K. M., Santos-Galduroz, R. F., De Aquino Lemos, V., Bueno, O. F. A., Rzezak, P., de Santana, M. G., y De Mello, M. T. (2015). The influence of physical exercise and leisure activity on neuropsychological functioning in older adults. *Age*, 37, 1–10.
- Arent, S. M., y Landers, D. M. (2003). Arousal, anxiety, and performance: A reexamination of the inverted-U hypothesis. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 74(4), 436–444.
- Arruda, A. F. S., Aoki, M. S., Paludo, A. C., y Moreira, A. (2017). Salivary steroid response and competitive anxiety in elite basketball players: Effect of opponent level. *Physiology & Behavior*, 177, 291–296.
- Ayres, P. (2006). Using subjective measures to detect variations of intrinsic cognitive load within problems. *Learning and Instruction*, 16(5), 389–400.

- Banich, M. T., y Depue, B. E. (2015). Recent advances in understanding neural systems that support inhibitory control. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 1, 17–22.
- Bar-Eli, M., y Tractinsky, N. (2000). Criticality of game situations and decision making in basketball: an application of performance crisis perspective. *Psychology of Sport and Exercise*, 1(1), 27–39.
- Bechara, A., Damasio, A. R., Damasio, H., y Anderson, S. W. (1994). Insensitivity to future consequences following damage to human prefrontal cortex. *Cognition*, 50(1–3), 7–15.
- Behan, M., y Wilson, M. (2008). State anxiety and visual attention: The role of the quiet eye period in aiming to a far target. *Journal of Sports Sciences*, 26(2), 207–215.
- Beilock, S. L., Bertenthal, B. I., McCoy, A. M., y Carr, T. H. (2004). Haste does not always make waste: Expertise, direction of attention, and speed versus accuracy in performing sensorimotor skills. *Psychonomic Bulletin & Review*, 11, 373–379.
- Beilock, S. L., y Carr, T. H. (2001). On the fragility of skilled performance: What governs choking under pressure? *Journal of Experimental Psychology: General*, 130(4), 701.
- Beilock, S. L., Carr, T. H., MacMahon, C., y Starkes, J. L. (2002). When paying attention becomes counterproductive: impact of divided versus skill-focused attention on novice and experienced performance of sensorimotor skills. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 8(1), 6.
- Benedict, C., Brooks, S. J., Kullberg, J., Nordenskjöld, R., Burgos, J., Le Grevès, M., Kilander, L., Larsson, E.-M., Johansson, L., y Ahlström, H. (2013). Association between physical activity and brain health in older adults. *Neurobiology of Aging*, 34(1), 83–90.
- Benzing, V., Heinks, T., Eggenberger, N., y Schmidt, M. (2016). Acute cognitively engaging exergame-based physical activity enhances executive functions in adolescents. *PloS One*, 11(12), e0167501.
- Best, J. R. (2010). Effects of physical activity on children's executive function: Contributions of experimental research on aerobic exercise. *Developmental Review*, 30(4), 331–351.
- Best, J. R. (2012). Exergaming immediately enhances children's executive function. *Developmental Psychology*, 48(5), 1501.
- Best, J. R., y Miller, P. H. (2010). A developmental perspective on executive function. *Child Development*, 81(6), 1641–1660.
- Blair, C., y Razza, R. P. (2007). Relating effortful control, executive function, and false belief understanding to emerging math and literacy ability in kindergarten. *Child Development*, 78(2), 647–663.
- Booth, F., Chakravarthy, M. V, Gordon, S. E., y Spangenburg, E. E. (2002). Waging war on physical inactivity: using modern molecular ammunition against an ancient enemy. *Journal of Applied Physiology*, 93, 3–30.

- Booth, J., Chesham, R. A., Brooks, N. E., Gorely, T., y Moran, C. N. (2020). A citizen science study of short physical activity breaks at school: improvements in cognition and wellbeing with self-paced activity. *BMC Medicine*, *18*(1), 1–11.
- Borst, S. E., Vincent, K. R., Lowenthal, D. T., y Braith, R. W. (2002). Effects of Resistance Training on Insulin-Like Growth Factor and its Binding Proteins in Men and Women Aged 60 to 85. *Journal of the American Geriatrics Society*, *50*(5), 884–888.
- Botvinick, M. M., Cohen, J. D., y Carter, C. S. (2004). Conflict monitoring and anterior cingulate cortex: an update. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*(12), 539–546.
- Bradley, M. M., y Lang, P. J. (1994). Measuring emotion: the self-assessment manikin and the semantic differential. *Journal of Behavior Therapy and Experimental Psychiatry*, *25*(1), 49–59.
- Brown, A. D., McMorris, C. A., Longman, R. S., Leigh, R., Hill, M. D., Friedenreich, C. M., y Poulin, M. J. (2010). Effects of cardiorespiratory fitness and cerebral blood flow on cognitive outcomes in older women. *Neurobiology of Aging*, *31*(12), 2047–2057.
- Brown, J., Cooper-Kuhn, C. M., Kempermann, G., Van Praag, H., Winkler, J., Gage, F. H., y Kuhn, H. G. (2003). Enriched environment and physical activity stimulate hippocampal but not olfactory bulb neurogenesis. *European Journal of Neuroscience*, *17*(10), 2042–2046.
- Brysbaert, M. (2019). How many participants do we have to include in properly powered experiments? A tutorial of power analysis with reference tables. *Journal of Cognition*.
- Buckner, R. L., Head, D., Parker, J., Fotenos, A. F., Marcus, D., Morris, J. C., y Snyder, A. Z. (2004). A unified approach for morphometric and functional data analysis in young, old, and demented adults using automated atlas-based head size normalization: reliability and validation against manual measurement of total intracranial volume. *Neuroimage*, *23*(2), 724–738.
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietraszyk-Kendziorra, S., Ribeiro, P., y Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience Letters*, *441*(2), 219–223.
- Bugg, J. M., y Head, D. (2011). Exercise moderates age-related atrophy of the medial temporal lobe. *Neurobiology of Aging*, *32*(3), 506–514.
- Burton, D. (1988). Do anxious swimmers swim slower? Reexamining the elusive anxiety-performance relationship. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *10*(1), 45–61.
- Buttelmann, F., y Karbach, J. (2017). Development and plasticity of cognitive flexibility in early and middle childhood. *Frontiers in Psychology*, *8*, 1040.

- Cárdenas, D., Conde-González, J., y Perales, J. C. (2015). El papel de la carga mental en la planificación del entrenamiento deportivo. *Revista de Psicología Del Deporte*, 24(1), 91–100.
- Cárdenas, D., Conde-González, J., y Perales, J. C. (2017). La fatiga como estado motivacional subjetivo. *Revista Andaluza de Medicina Del Deporte*, 10(1), 31–41.
- Cárdenas, D., Madinabeitia, I., Vera, J., Perales, J. C., García-Ramos, A., Ortega, E., Catena-Verdejo, E., y Catena, A. (2018). Strength, affect regulation, and subcortical morphology in military pilots. *Med. Sci. Sports Exerc.*
- Carey, J. R., Bhatt, E., y Nagpal, A. (2005). Neuroplasticity promoted by task complexity. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 33(1), 24–31.
- Carro, E., Trejo, J. L., Busiguina, S., y Torres-Aleman, I. (2001). Circulating insulin-like growth factor I mediates the protective effects of physical exercise against brain insults of different etiology and anatomy. *Journal of Neuroscience*, 21(15), 5678–5684.
- Castaneda, B., y Gray, R. (2007). Effects of focus of attention on baseball batting performance in players of differing skill levels. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(1), 60–77.
- Causse, M., Chua, Z., Peysakhovich, V., Del Campo, N., y Matton, N. (2017). Mental workload and neural efficiency quantified in the prefrontal cortex using fNIRS. *Scientific Reports*, 7(1), 1–15.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., VanPatter, M., Voss, M. W., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Hillman, C. H., y Kramer, A. F. (2010). Basal ganglia volume is associated with aerobic fitness in preadolescent children. *Developmental Neuroscience*, 32(3), 249–256.
- Chaddock, L., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., y Kramer, A. F. (2011). A review of the relation of aerobic fitness and physical activity to brain structure and function in children. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 17(6), 975–985.
- Chang, Y., Labban, J. D., Gapin, J. I., y Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Research*, 1453, 87–101.
- Chavan, C. F., Mouthon, M., Draganski, B., Van Der Zwaag, W., y Spierer, L. (2015). Differential patterns of functional and structural plasticity within and between inferior frontal gyri support training-induced improvements in inhibitory control proficiency. *Human Brain Mapping*, 36(7), 2527–2543.
- Chen, W., Peng, T.-C., Sun, Y.-S., Yang, H.-F., Liaw, F.-Y., Wu, L.-W., Chang, Y.-W., y Kao, T.-W. (2015). Examining the association between quadriceps strength and cognitive performance in the elderly. *Medicine*, 94(32).
- Christensen, W. (2019). Skilled action. *Philosophy Compass*, 14(11), e12631.
- Colcombe, S., Erickson, K. I., Raz, N., Webb, A. G., Cohen, N. J., McAuley, E., y Kramer, A. F. (2003). Aerobic fitness reduces brain tissue loss in aging humans.

The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences, 58(2), 176–180.

- Colcombe, S., Erickson, K. I., Scalf, P. E., Kim, J. S., Prakash, R., McAuley, E., Elavsky, S., Marquez, D. X., Hu, L., y Kramer, A. F. (2006). Aerobic exercise training increases brain volume in aging humans. *The Journals of Gerontology Series A: Biological Sciences and Medical Sciences*, 61(11), 1166–1170.
- Colcombe, S., y Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125–130.
- Colcombe, S., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., Webb, A., Jerome, G. J., Marquez, D. X., y Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(9), 3316–3321.
- Coles, K., y Tomporowski, P. D. (2008). Effects of acute exercise on executive processing, short-term and long-term memory. *Journal of Sports Sciences*, 26(3), 333–344.
- Cortés-Pascual, A., Moyano Muñoz, N., y Quilez Robres, A. (2019). The relationship between executive functions and academic performance in primary education: Review and meta-analysis. *Frontiers in Psychology*, 10, 1582.
- Cortis, C., Tessitore, A., Lupo, C., Pesce, C., Fossile, E., Figura, F., y Capranica, L. (2011). Inter-limb coordination, strength, jump, and sprint performances following a youth men's basketball game. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(1), 135–142.
- Cotman, C. W., Berchtold, N. C., y Christie, L.-A. (2007). Exercise builds brain health: key roles of growth factor cascades and inflammation. *Trends in Neurosciences*, 30(9), 464–472.
- Craft, L. L., Magyar, T. M., Becker, B. J., y Feltz, D. L. (2003). The relationship between the Competitive State Anxiety Inventory-2 and sport performance: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 25(1), 44–65.
- Cross, E. S., Schmitt, P. J., y Grafton, S. T. (2007). Neural substrates of contextual interference during motor learning support a model of active preparation. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19(11), 1854–1871.
- Curlik, D. M., y Shors, T. J. (2013). Training your brain: do mental and physical (MAP) training enhance cognition through the process of neurogenesis in the hippocampus? *Neuropharmacology*, 64, 506–514.
- Davies, L. N., Bartlett, H., Mallen, E. A. H., y Wolffsohn, J. S. (2006). Clinical evaluation of rebound tonometer. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 84(2), 206–209.
- De Smedt, S., Mermoud, A., y Schnyder, C. (2012). 24-hour intraocular pressure fluctuation monitoring using an ocular telemetry sensor: tolerability and functionality in healthy subjects. *Journal of Glaucoma*, 21(8), 539–544.

- D'Esposito, M., Postle, B. R., Ballard, D., y Lease, J. (1999). Maintenance versus manipulation of information held in working memory: an event-related fMRI study. *Brain and Cognition*, 41(1), 66–86.
- Diamond, A. (2013). Executive functions. *Annual Review of Psychology*, 64, 135–168.
- Diamond, A. (2015). Effects of physical exercise on executive functions: going beyond simply moving to moving with thought. *Annals of Sports Medicine and Research*, 2(1), 1011.
- Diamond, A., y Lee, K. (2011). Interventions demonstrated to support the development of executive function in children aged 4 to 12 years. *Science*, 333, 959–964.
- Diamond, A., y Ling, D. S. (2016). Conclusions about interventions, programs, and approaches for improving executive functions that appear justified and those that, despite much hype, do not. *Developmental Cognitive Neuroscience*, 18, 34–48.
- Diekfuss, J. A., Ward, P., y Raisbeck, L. D. (2017). Attention, workload, and performance: A dual-task simulated shooting study. *International Journal of Sport and Exercise Psychology*, 15(4), 423–437.
- Ding, Q., Vaynman, S., Akhavan, M., Ying, Z., y Gomez-Pinilla, F. (2006). Insulin-like growth factor I interfaces with brain-derived neurotrophic factor-mediated synaptic plasticity to modulate aspects of exercise-induced cognitive function. *Neuroscience*, 140(3), 823–833.
- Dixon, M. L., y Christoff, K. (2014). The lateral prefrontal cortex and complex value-based learning and decision making. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 45, 9–18.
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., Lambourne, K., y Szabo-Reed, A. N. (2016). Physical activity, fitness, cognitive function, and academic achievement in children: a systematic review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(6), 1197.
- Dote-Montero, M., Pelayo-Tejo, I., Molina-García, P., Carle-Calo, A., García-Ramos, A., Chiroso-Ríos, L. J., Chiroso-Ríos, I. J., y Amaro-Gahete, F. J. (2021). Effects of post-tetanic potentiation induced by whole-body electrostimulation and post-activation potentiation on maximum isometric strength. *Biology of Sport*, 39(2), 451–461.
- Dote-Montero, M., Pelayo-Tejo, I., Molina-García, P., Carle-Calo, A., García-Ramos, A., Chiroso-Ríos, L. J., Chiroso-Ríos, I. J., y Amaro-Gahete, F. J. (2022). Effects of post-tetanic potentiation induced by whole-body electrostimulation and post-activation potentiation on maximum isometric strength. *Biology of Sport*, 39(2), 451–461.
- Doughty, M. J., y Zaman, M. L. (2000). Human corneal thickness and its impact on intraocular pressure measures: a review and meta-analysis approach. *Survey of Ophthalmology*, 44(5), 367–408.

- Englert, C., y Bertrams, A. (2012). Anxiety, ego depletion, and sports performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34(5), 580–599.
- Englert, C., Bertrams, A., Furley, P., y Oudejans, R. R. D. (2015). Is ego depletion associated with increased distractibility? Results from a basketball free throw task. *Psychology of Sport and Exercise*, 18, 26–31.
- Englert, C., y Taylor, I. M. (2021). *Motivation and self-regulation in sport and exercise*. Routledge/Taylor & Francis Group.
- Erickson, K., Hillman, C. H., y Kramer, A. F. (2015). Physical activity, brain, and cognition. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 4, 27–32.
- Erickson, K., Hillman, C., Stillman, C. M., Ballard, R. M., Bloodgood, B., Conroy, D. E., Macko, R., Marquez, D. X., Petruzzello, S. J., y Powell, K. E. (2019). Physical activity, cognition, and brain outcomes: a review of the 2018 physical activity guidelines. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 51(6), 1242.
- Erickson, K., y Kramer, A. F. (2009). Aerobic exercise effects on cognitive and neural plasticity in older adults. *British Journal of Sports Medicine*, 43(1), 22–24.
- Erickson, K., Leckie, R. L., y Weinstein, A. M. (2014). Physical activity, fitness, and gray matter volume. *Neurobiology of Aging*, 35, S20–S28.
- Erickson, K., Prakash, R., Voss, M., Chaddock, L., Hu, L., y Morris, K. (2009). Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus*, 19, 1030–1039.
- Erickson, K., Raji, C. A., Lopez, O. L., Becker, J. T., Rosano, C., Newman, A. B., Gach, H. M., Thompson, P. M., Ho, A. J., y Kuller, L. H. (2010). Physical activity predicts gray matter volume in late adulthood: the Cardiovascular Health Study. *Neurology*, 75(16), 1415–1422.
- Erickson, K., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., Kim, J. S., Heo, S., Alves, H., y White, S. M. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(7), 3017–3022.
- Eriksen, B. A., y Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 16(1), 143–149.
- Esmail, A., Vranceanu, T., Lussier, M., Predovan, D., Berryman, N., Houle, J., Karelis, A., Grenier, S., Vu, T. T. M., y Villalpando, J. M. (2020). Effects of dance/movement training vs. aerobic exercise training on cognition, physical fitness and quality of life in older adults: A randomized controlled trial. *Journal of Bodywork and Movement Therapies*, 24(1), 212–220.
- Esteban-Cornejo, I., Tejero-González, C. M., Martínez-Gómez, D., del-Campo, J., González-Galo, A., Padilla-Moledo, C., Sallis, J. F., Veiga, O. L., y Study Group Up & Down (2014). Independent and combined influence of the components of physical fitness on academic performance in youth. *The Journal of Pediatrics*, 165(2), 306–312.

- Fabel, K., y Kempermann, G. (2008). Physical activity and the regulation of neurogenesis in the adult and aging brain. *Neuromolecular Medicine*, 10, 59–66.
- Fabel, K., Wolf, S., Ehninger, D., Babu, H., Galicia, P., y Kempermann, G. (2009). Additive effects of physical exercise and environmental enrichment on adult hippocampal neurogenesis in mice. *Frontiers in Neuroscience*, 2.
- Faul, F., Erdfelder, E., Lang, A.-G., y Buchner, A. (2007). G* Power 3: A flexible statistical power analysis program for the social, behavioral, and biomedical sciences. *Behavior Research Methods*, 39(2), 175–191.
- Feldon, D. F., Callan, G., Juth, S., y Jeong, S. (2019). Cognitive load as motivational cost. *Educational Psychology Review*, 31, 319–337.
- Flöel, A., Ruscheweyh, R., Krüger, K., Willemer, C., Winter, B., Völker, K., Lohmann, H., Zitzmann, M., Mooren, F., y Breitenstein, C. (2010). Physical activity and memory functions: are neurotrophins and cerebral gray matter volume the missing link? *Neuroimage*, 49(3), 2756–2763.
- Fortes, L. S., da Costa, B. D. V, Paes, P. P., do Nascimento Júnior, J. R. A., Fiorese, L., y Ferreira, M. E. C. (2017). Influence of competitive-anxiety on heart rate variability in swimmers. *Journal of Sports Science & Medicine*, 16(4), 498.
- Frith, E., y Loprinzi, P. D. (2018). The association between lower extremity muscular strength and cognitive function in a national sample of older adults. *Journal of Lifestyle Medicine*, 8(2), 99.
- Gabbett, T., Wake, M., y Abernethy, B. (2011). Use of dual-task methodology for skill assessment and development: Examples from rugby league. *Journal of Sports Sciences*, 29(1), 7–18.
- Gentile, A. M. (1998). Movement science: Implicit and explicit processes during acquisition of functional skills. *Scandinavian Journal of Occupational Therapy*, 5(1), 7–16.
- Golden, C. J. (1994). Stroop. *Test de Colores y Palabras*. Madrid: Tea Ediciones.
- Gondoh, Y., Sensui, H., Kinomura, S., Fukuda, H., Fujimoto, T., Masud, M., Nagamatsu, T., Tamaki, H., y Takekura, H. (2009). Effects of aerobic exercise training on brain structure and psychological well-being in young adults. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(2), 129.
- Gordon, B. A., Rykhlevskaia, E. I., Brumback, C. R., Lee, Y., Elavsky, S., Konopack, J. F., McAuley, E., Kramer, A. F., Colcombe, S., y Gratton, G. (2008). Neuroanatomical correlates of aging, cardiopulmonary fitness level, and education. *Psychophysiology*, 45(5), 825–838.
- Gray, J., y McNaughton, N. (2003). *The Neuropsychology of Anxiety: An Enquiry into the Functions of the Septo-hippocampal System*. New York: Oxford University Press.

- Griesbach, G. S., Hovda, D. A., y Gomez-Pinilla, F. (2009). Exercise-induced improvement in cognitive performance after traumatic brain injury in rats is dependent on BDNF activation. *Brain Research*, 1288, 105–115.
- Gu, Q., Zou, L., Loprinzi, P. D., Quan, M., y Huang, T. (2019). Effects of open versus closed skill exercise on cognitive function: a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 1707.
- Guadagnoli, M. A., y Lee, T. D. (2004). Challenge point: a framework for conceptualizing the effects of various practice conditions in motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 36(2), 212–224.
- Guillén, F., y Sánchez, R. (2009). Competitive anxiety in expert female athletes: sources and intensity of anxiety in National Team and First Division Spanish basketball players. *Perceptual and Motor Skills*, 109(2), 407–419.
- Guillén-Riquelmeé, A., y Buela-Casal, G. (2011). Actualización psicométrica y funcionamiento diferencial de los ítems en el State Trait Anxiety Inventory (STAI). *Psicothema*.
- Halson, S. L. (2014). Monitoring training load to understand fatigue in athletes. *Sports Medicine*, 44(Suppl 2), 139–147.
- Hart, S. G., y Staveland, L. E. (1988). Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. In *Advances in psychology* (Vol. 52, pp. 139–183). Elsevier.
- Hatfield, B. D., y Hillman, C. H. (2001). The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance. *Handbook of Sport Psychology*, 2, 362–386.
- Head, D., Singh, T., y Bugg, J. M. (2012). The moderating role of exercise on stress-related effects on the hippocampus and memory in later adulthood. *Neuropsychology*, 26(2), 133.
- Head, J., Tenan, M. S., Tweedell, A. J., LaFiandra, M. E., Morelli, F., Wilson, K. M., Ortega, S. V., y Helton, W. S. (2017). Prior mental fatigue impairs marksmanship decision performance. *Frontiers in Physiology*, 8, 680.
- Hepler, T. J. (2015). Decision-making in sport under mental and physical stress. *International Journal of Kinesiology and Sports Science*, 3(4), 79–83.
- Herting, M. M., Keenan, M. F., y Nagel, B. J. (2016). Aerobic fitness linked to cortical brain development in adolescent males: preliminary findings suggest a possible role of BDNF genotype. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 327.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., y Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58–65.
- Holfelder, B., Klotzbier, T. J., Eisele, M., y Schott, N. (2020). Hot and cool executive function in elite-and amateur-adolescent athletes from open and closed skills sports. *Frontiers in Psychology*, 11, 694.

- Jackson, R. C., Ashford, K. J., y Norsworthy, G. (2006). Attentional focus, dispositional reinvestment, and skilled motor performance under pressure. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 28(1), 49–68.
- Jacobson, J., y Matthaues, L. (2014). Athletics and executive functioning: How athletic participation and sport type correlate with cognitive performance. *Psychology of Sport and Exercise*, 15(5), 521–527.
- Janelle, C. M. (2002). Anxiety, arousal and visual attention: A mechanistic account of performance variability. *Journal of Sports Sciences*, 20(3), 237–251.
- Jiménez, R., y Vera, J. (2018). Effect of examination stress on intraocular pressure in university students. *Applied Ergonomics*, 67, 252–258.
- Jollant, F., Bellivier, F., Leboyer, M., Astruc, B., Torres, S., Verdier, R., Castelnaud, D., Malafosse, A., y Courtet, P. (2005). Impaired decision making in suicide attempters. *American Journal of Psychiatry*, 162(2), 304–310.
- Jonasson, L. S., Nyberg, L., Kramer, A. F., Lundquist, A., Riklund, K., y Boraxbekk, C.-J. (2017). Aerobic exercise intervention, cognitive performance, and brain structure: results from the physical influences on brain in aging (PHIBRA) study. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 8, 336.
- Kalén, A., Bisagno, E., Musculus, L., Raab, M., Pérez-Ferreirós, A., Williams, A. M., Araújo, D., Lindwall, M., y Ivarsson, A. (2021). The role of domain-specific and domain-general cognitive functions and skills in sports performance: A meta-analysis. *Psychological Bulletin*, 147(12), 1290.
- Kenney, W. L., Wilmore, J. H., y Costill, D. L. (2021). *Physiology of sport and exercise*. Human kinetics.
- Kilgour, A. H. M., Todd, O. M., y Starr, J. M. (2014). A systematic review of the evidence that brain structure is related to muscle structure and their relationship to brain and muscle function in humans over the lifecourse. *BMC Geriatrics*, 14, 1–35.
- Kleine, D. (1990). Stress and Anxiety in Sport. *Anxiety Res*, 2, 113–131.
- Koch, P., y Krenn, B. (2021). Executive functions in elite athletes—Comparing open-skill and closed-skill sports and considering the role of athletes’ past involvement in both sport categories. *Psychology of Sport and Exercise*, 55, 101925.
- Koedijker, J. M., Oudejans, R. R. D., y Beek, P. J. (2008). Table tennis performance following explicit and analogy learning over 10,000 repetitions. *International Journal of Sport Psychology*, 39(3), 237–256.
- Koedijker, J. M., Poolton, J. M., Maxwell, J. P., Oudejans, R. R. D., Beek, P. J., y Masters, R. S. W. (2011). Attention and time constraints in perceptual-motor learning and performance: Instruction, analogy, and skill level. *Consciousness and Cognition*, 20(2), 245–256.
- Könen, T., y Karbach, J. (2015). The benefits of looking at intraindividual dynamics in cognitive training data. *Frontiers in Psychology*, 6, 615.

- Konishi, K., Kimura, T., Yuhaku, A., Kurihara, T., Fujimoto, M., Hamaoka, T., y Sanada, K. (2017). Effect of sustained high-intensity exercise on executive function. *The Journal of Physical Fitness and Sports Medicine*, 6(2), 111–117.
- Kooistra, M., Boss, H. M., van der Graaf, Y., Kappelle, L. J., Biessels, G. J., Geerlings, M. I., y Group, S.-M. S. (2014). Physical activity, structural brain changes and cognitive decline. The SMART-MR study. *Atherosclerosis*, 234(1), 47–53.
- Kramer, A. F., Erickson, K. I., y Colcombe, S. J. (2006). Exercise, cognition, and the aging brain. *Journal of Applied Physiology*, 101(4), 1237–1242.
- Kramer, A. F., Larish, J. F., y Strayer, D. L. (1995). Training for attentional control in dual task settings: a comparison of young and old adults. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 1(1), 50.
- Laborde, S., Furley, P., y Schempp, C. (2015). The relationship between working memory, reinvestment, and heart rate variability. *Physiology & Behavior*, 139, 430–436.
- Landazabal, M. G., y Berruero, L. (2007). Efectos de un programa de intervención en niños de 5 a 6 años: Evaluación del cambio proactivo en factores conductuales y cognitivos del desarrollo. *Summa Psicológica UST*, 4(2), 3–20.
- Lee, P. H., Macfarlane, D. J., Lam, T. H., y Stewart, S. M. (2011). Validity of the international physical activity questionnaire short form (IPAQ-SF): A systematic review. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 8(1), 1–11.
- Li, M., Zhao, Y., Yan, X., y Zhang, H. (2017). The relationship between the 24-hour fluctuations in Schlemm's Canal and intraocular pressure: an observational study using high-frequency ultrasound biomicroscopy. *Current Eye Research*, 42(10), 1389–1395.
- Lind, R. R., Beck, M. M., Wikman, J., Malarski, K., Krstrup, P., Lundbye-Jensen, J., y Geertsen, S. S. (2019). Acute high-intensity football games can improve children's inhibitory control and neurophysiological measures of attention. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 29(10), 1546–1562.
- Liu-Ambrose, T., y Donaldson, M. G. (2009). Exercise and cognition in older adults: is there a role for resistance training programmes? *British Journal of Sports Medicine*, 43(1), 25–27.
- Lo, W. L. A., Liang, Z., Li, W., Luo, S., Zou, Z., Chen, S., y Yu, Q. (2019). The effect of judo training on set-shifting in school children. *BioMed Research International*, 2019, 2572016.
- Lopez-Lopez, C., LeRoith, D., y Torres-Aleman, I. (2004). Insulin-like growth factor I is required for vessel remodeling in the adult brain. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 101(26), 9833–9838.
- López-Vicente, M., Tiemeier, H., Wildeboer, A., Muetzel, R. L., Verhulst, F. C., Jaddoe, V. W. V., Sunyer, J., y White, T. (2017). Cortical structures associated with

- sports participation in children: A population-based study. *Developmental Neuropsychology*, 42(2), 58–69.
- Ludyga, S., Gerber, M., Brand, S., Holsboer-Trachsler, E., y Pühse, U. (2016). Acute effects of moderate aerobic exercise on specific aspects of executive function in different age and fitness groups: A meta-analysis. *Psychophysiology*, 53(11), 1611–1626.
- Ludyga, S., Gerber, M., Kamijo, K., Brand, S., y Pühse, U. (2018). The effects of a school-based exercise program on neurophysiological indices of working memory operations in adolescents. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 21(8), 833–838.
- Ludyga, S., Gerber, M., Pühse, U., Looser, V. N., y Kamijo, K. (2020). Systematic review and meta-analysis investigating moderators of long-term effects of exercise on cognition in healthy individuals. *Nature Human Behaviour*, 4(6), 603–612.
- Ludyga, S., Mücke, M., Andrä, C., Gerber, M., y Pühse, U. (2022). Neurophysiological correlates of interference control and response inhibition processes in children and adolescents engaging in open-and closed-skill sports. *Journal of Sport and Health Science*, 11(2), 224–233.
- Lundgren, T., Högman, L., Näslund, M., y Parling, T. (2016). Preliminary investigation of executive functions in elite ice hockey players. *Journal of Clinical Sport Psychology*, 10(4), 324–335.
- Macedonia, M., y Repetto, C. (2017). Why your body can jog your mind. *Frontiers in Psychology*, 8, 362.
- Maes, P.-J., Wanderley, M. M., y Palmer, C. (2015). The role of working memory in the temporal control of discrete and continuous movements. *Experimental Brain Research*, 233, 263–273.
- Mangine, G. T., Hoffman, J. R., Wells, A. J., Gonzalez, A. M., Rogowski, J. P., Townsend, J. R., Jajtner, A. R., Beyer, K. S., Bohner, J. D., y Pruna, G. J. (2014). Visual tracking speed is related to basketball-specific measures of performance in NBA players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(9), 2406–2414.
- Marks, B. L., Madden, D. J., Bucur, B., Provenzale, J. M., White, L. E., Cabeza, R., y Huettel, S. A. (2007). Role of aerobic fitness and aging on cerebral white matter integrity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1097(1), 171–174.
- Martinent, G., Ferrand, C., Guillet, E., y Gauthier, S. (2010). Validation of the French version of the Competitive State Anxiety Inventory-2 Revised (CSAI-2R) including frequency and direction scales. *Psychology of Sport and Exercise*, 11(1), 51–57.
- Martin-Martinez, I., Chiroso, L. J., Reigal, R. E., Hernandez-Mendo, A., y de Mier, R. J.-R. (2015). Effects of physical activity on executive function in a sample of adolescents. *Anales de Psicología*, 31(3), 962.

- Masaki, H., Maruo, Y., Meyer, A., y Hajcak, G. (2017). Neural correlates of choking under pressure: Athletes high in sports anxiety monitor errors more when performance is being evaluated. *Developmental Neuropsychology*, 42(2), 104–112.
- Mavros, Y., Gates, N., Wilson, G. C., Jain, N., Meiklejohn, J., Brodaty, H., Wen, W., Singh, N., Baune, B. T., y Suo, C. (2017). Mediation of cognitive function improvements by strength gains after resistance training in older adults with mild cognitive impairment: outcomes of the study of mental and resistance training. *Journal of the American Geriatrics Society*, 65(3), 550–559.
- McClelland, M. M., Acock, A. C., y Morrison, F. J. (2006). The impact of kindergarten learning-related skills on academic trajectories at the end of elementary school. *Early Childhood Research Quarterly*, 21(4), 471–490.
- McMorris, T. E., Tomporowski, P. E., y Audiffren, M. E. (2009). *Exercise and cognitive function*. Wiley-Blackwell.
- Méndez-Ulrich, J. L., y Sanz, A. (2017). Psycho-ophthalmology: contributions of health psychology to the assessment and treatment of glaucoma. *Psychology & Health*, 32(3), 330–342.
- Miyake, A., Friedman, N. P., Emerson, M. J., Witzki, A. H., Howerter, A., y Wager, T. D. (2000). The unity and diversity of executive functions and their contributions to complex “frontal lobe” tasks: A latent variable analysis. *Cognitive Psychology*, 41(1), 49–100.
- Moen, F., Hrozanova, M., y Pensgaard, A. M. (2018). The effects of perceptual-cognitive training on subjective performance in elite athletes. *The Sport Journal*, 21.
- Moen, F., Hrozanova, M., y Stiles, T. (2018). The effects of perceptual-cognitive training with Neurotracker on executive brain functions among elite athletes. *Cogent Psychology*, 5(1), 1544105.
- Mosley, E., Laborde, S., y Kavanagh, E. (2017). The contribution of coping related variables and cardiac vagal activity on the performance of a dart throwing task under pressure. *Physiology & Behavior*, 179, 116–125.
- Mullen, R., Hardy, L., y Oldham, A. (2007). Implicit and explicit control of motor actions: revisiting some early evidence. *British Journal of Psychology*, 98(1), 141–156.
- Müller, P., Rehfeld, K., Schmicker, M., Hökelmann, A., Dordevic, M., Lessmann, V., Brigadski, T., Kaufmann, J., y Müller, N. G. (2017). Evolution of neuroplasticity in response to physical activity in old age: the case for dancing. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 9, 56.
- Nadig, A., Seidlitz, J., McDermott, C. L., Liu, S., Bethlehem, R., Moore, T. M., Mallard, T. T., Clasen, L. S., Blumenthal, J. D., y Lalonde, F. (2021). Morphological integration of the human brain across adolescence and adulthood. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(14), e2023860118.

- Nakamoto, H., Yoshitake, Y., Takai, Y., Kanehisa, H., Kitamura, T., Kawanishi, M., y Mori, S. (2012). Knee extensor strength is associated with Mini-Mental State Examination scores in elderly men. *European Journal of Applied Physiology*, *112*, 1945–1953.
- Neumann, O. (1984). Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. *Cognition and Motor Processes*, 255–293.
- Nibbeling, N., Daanen, H. A. M., Gerritsma, R. M., Hofland, R. M., y Oudejans, R. R. D. (2012). Effects of anxiety on running with and without an aiming task. *Journal of Sports Sciences*, *30*(1), 11–19.
- Nieuwenhuys, A., y Oudejans, R. R. D. (2012). Anxiety and perceptual-motor performance: toward an integrated model of concepts, mechanisms, and processes. *Psychological Research*, *76*, 747–759.
- Nieuwenhuys, A., y Oudejans, R. R. D. (2017). Anxiety and performance: Perceptual-motor behavior in high-pressure contexts. *Current Opinion in Psychology*, *16*, 28–33.
- Northey, J. M., Cherbuin, N., Pumpa, K. L., Smees, D. J., y Rattray, B. (2018). Exercise interventions for cognitive function in adults older than 50: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, *52*(3), 154–160.
- Northey, J. M., Rattray, B., Pumpa, K. L., Pryor, D. J., Fraser, M. A., Shaw, M. E., Anstey, K. J., y Cherbuin, N. (2020). Objectively measured physical activity is associated with dorsolateral prefrontal cortex volume in older adults. *NeuroImage*, *221*, 117150.
- Oberauer, K. (2018). On the automaticity of familiarity in short-term recognition: A test of the dual-process assumption with the PRP paradigm. *Journal of Cognition*, *1*(1).
- Oppenheimer, D. M., Meyvis, T., y Davidenko, N. (2009). Instructional manipulation checks: Detecting satisficing to increase statistical power. *Journal of Experimental Social Psychology*, *45*(4), 867–872.
- Ortega, F. B., Mora-Gonzalez, J., Cadenas-Sanchez, C., Esteban-Cornejo, I., Migueles, J. H., Solis-Urra, P., Verdejo-Román, J., Rodriguez-Ayllon, M., Molina-Garcia, P., Ruiz, J. R., y Catena, A. (2022). Effects of an exercise program on brain health outcomes for children with overweight or obesity: the ActiveBrains randomized clinical trial. *JAMA Network Open*, *5*(8).
- Owen, A. M., McMillan, K. M., Laird, A. R., y Bullmore, E. (2005). N-back working memory paradigm: A meta-analysis of normative functional neuroimaging studies. *Human Brain Mapping*, *25*(1), 46–59.
- Pacheco-Unguetti, A. P., Acosta, A., Callejas, A., y Lupiáñez, J. (2010). Attention and anxiety: Different attentional functioning under state and trait anxiety. *Psychological Science*, *21*(2), 298–304.

- Pakrou, N., Gray, T., Mills, R., Landers, J., y Craig, J. (2008). Clinical comparison of the Icare tonometer and Goldmann applanation tonometry. *Journal of Glaucoma*, *17*(1), 43–47.
- Parkin, B. L., y Walsh, V. (2017). Gunslingers, poker players, and chickens 2: Decision-making under physical performance pressure in subelite athletes. *Progress in Brain Research*, *234*, 317–338.
- Penedo, F. J., y Dahn, J. R. (2005). Exercise and well-being: a review of mental and physical health benefits associated with physical activity. *Current Opinion in Psychiatry*, *18*(2), 189–193.
- Pereira, A. C., Huddleston, D. E., Brickman, A. M., Sosunov, A. A., Hen, R., McKhann, G. M., Sloan, R., Gage, F. H., Brown, T. R., y Small, S. A. (2007). An in vivo correlate of exercise-induced neurogenesis in the adult dentate gyrus. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *104*(13), 5638–5643.
- Pesce, C. (2012). Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *34*(6), 766–786.
- Pesce, C., Stodden, D. F., y Lakes, K. D. (2021). Physical activity “enrichment”: a joint focus on motor competence, hot and cool executive functions. *Frontiers in Psychology*, *12*, 658–667.
- Pontifex, M. B., Hillman, C. H., Fernhall, B. O., Thompson, K. M., y Valentini, T. A. (2009). The effect of acute aerobic and resistance exercise on working memory. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, *41*(4), 927–934.
- Pontifex, M. B., Raine, L. B., Johnson, C. R., Chaddock, L., Voss, M. W., Cohen, N. J., Kramer, A. F., y Hillman, C. H. (2011). Cardiorespiratory fitness and the flexible modulation of cognitive control in preadolescent children. *Journal of Cognitive Neuroscience*, *23*(6), 1332–1345.
- Quintero, A. P., Bonilla-Vargas, K. J., Correa-Bautista, J. E., Domínguez-Sánchez, M. A., Triana-Reina, H. R., Velasco-Orjuela, G. P., García-Hermoso, A., Villa-González, E., Esteban-Cornejo, I., y Correa-Rodríguez, M. (2018). Acute effect of three different exercise training modalities on executive function in overweight inactive men: a secondary analysis of the BrainFit study. *Physiology & Behavior*, *197*, 22–28.
- Reitan, R. M., y Wolfson, D. (1985). *The Halstead-Reitan neuropsychological test battery: Theory and clinical interpretation* (Vol. 4). Reitan Neuropsychology.
- Richard-Devantoy, S., Jollant, F., Kefi, Z., Turecki, G., Olié, J. P., Annweiler, C., Beauchet, O., y Le Gall, D. (2012). Deficit of cognitive inhibition in depressed elderly: a neurocognitive marker of suicidal risk. *Journal of Affective Disorders*, *140*(2), 193–199.
- Robinson, L. E., Palmer, K. K., y Bub, K. L. (2016). Effect of the children’s health activity motor program on motor skills and self-regulation in head start preschoolers: an efficacy trial. *Frontiers in Public Health*, *4*, 173.

- Rosen, A. F. G., Roalf, D. R., Ruparel, K., Blake, J., Seelaus, K., Villa, L. P., Ciric, R., Cook, P. A., Davatzikos, C., y Elliott, M. A. (2018). Quantitative assessment of structural image quality. *Neuroimage*, *169*, 407–418.
- Rueda, M. R., Conejero, Á., y Guerra, S. (2016). Educar la atención desde la neurociencia. *Pensamiento Educativo, Revista de Investigación Latinoamericana (PEL)*, *53*(1).
- Rueda, M. R., Posner, M. I., y Rothbart, M. K. (2005). The development of executive attention: Contributions to the emergence of self-regulation. *Developmental Neuropsychology*, *28*(2), 573–594.
- Saleem, K. S., Miller, B., y Price, J. L. (2014). Subdivisions and connectional networks of the lateral prefrontal cortex in the macaque monkey. *Journal of Comparative Neurology*, *522*(7), 1641–1690.
- Saw, A. E., Main, L. C., y Gatin, P. B. (2016). Monitoring the athlete training response: subjective self-reported measures trump commonly used objective measures: a systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, *50*(5), 281–291.
- Schaefer, S. (2014). The ecological approach to cognitive–motor dual-tasking: findings on the effects of expertise and age. *Frontiers in Psychology*, *5*, 1167.
- Scharfen, H., y Memmert, D. (2019). Measurement of cognitive functions in experts and elite athletes: A meta-analytic review. *Applied Cognitive Psychology*, *33*(5), 843–860.
- Schmidt, M., Jäger, K., Egger, F., Roebbers, C. M., y Conzelmann, A. (2015). Cognitively engaging chronic physical activity, but not aerobic exercise, affects executive functions in primary school children: a group-randomized controlled trial. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *37*(6), 575–591.
- Schmolesky, M. T., Webb, D. L., y Hansen, R. A. (2013). The effects of aerobic exercise intensity and duration on levels of brain-derived neurotrophic factor in healthy men. *Journal of Sports Science & Medicine*, *12*(3), 502.
- Segen, J. (2006). *Concise Dictionary of Modern Medicine*. New York: McGraw-Hill.
- Sevrez, V., y Bourdin, C. (2015). On the role of proprioception in making free throws in basketball. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, *86*(3), 274–280.
- Shaughnessy, K. A., Hackney, K. J., Clark, B. C., Kraemer, W. J., Terbizan, D. J., Bailey, R. R., y McGrath, R. (2020). A narrative review of handgrip strength and cognitive functioning: bringing a new characteristic to muscle memory. *Journal of Alzheimer's Disease*, *73*(4), 1265–1278.
- Shen, S., y Sterr, A. (2013). Is DARTEL-based voxel-based morphometry affected by width of smoothing kernel and group size? A study using simulated atrophy. *Journal of Magnetic Resonance Imaging*, *37*(6), 1468–1475.

- Shi, P., Tang, Y., Zhang, Z., Feng, X., y Li, C. (2022). Effect of Physical Exercise in Real-World Settings on Executive Function of Typical Children and Adolescents: A Systematic Review. *Brain Sciences*, 12(12), 1734.
- Shim, S. Y., Herwig, J. E., y Shelley, M. (2001). Preschoolers' play behaviors with peers in classroom and playground settings. *Journal of Research in Childhood Education*, 15(2), 149–163.
- Shuggi, I. M., Oh, H., Shewokis, P. A., y Gentili, R. J. (2017). Mental workload and motor performance dynamics during practice of reaching movements under various levels of task difficulty. *Neuroscience*, 360, 166–179.
- Sibley, B. A., y Etnier, J. L. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science*, 15(3), 243–256.
- Siegenthaler, E., Costela, F. M., McCamy, M. B., Di Stasi, L. L., Otero-Millan, J., Sonderegger, A., Groner, R., Macknik, S., y Martinez-Conde, S. (2014). Task difficulty in mental arithmetic affects microsaccadic rates and magnitudes. *European Journal of Neuroscience*, 39(2), 287–294.
- Spielberger, C. D., Gorsuch, R. L., y Lushene, R. E. (1982). Cuestionario de ansiedad estado-rasgo. *Madrid: Tea*, 1.
- Stillman, C. M., Esteban-Cornejo, I., Brown, B., Bender, C. M., y Erickson, K. I. (2020). Effects of exercise on brain and cognition across age groups and health states. *Trends in Neurosciences*, 43(7), 533–543.
- Styles, E. A. (2010). *Psicología de la atención*. Editorial Centro de Estudios Ramón Areces Madrid, Spain.
- Tallent, J., Higgins, M., Parker, N., Waldron, M., Bradford, E., Keenan, J., O'neill, B. V, y Bell, P. G. (2017). Quantification of bowling workload and changes in cognitive function in elite fast bowlers in training compared with twenty20 cricket. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 59(1), 35–41.
- Thomas, A. G., Dennis, A., Bandettini, P. A., y Johansen-Berg, H. (2012). The effects of aerobic activity on brain structure. *Frontiers in Psychology*, 3, 86.
- Tirapu-Ustarroz, J., Muñoz-Céspedes, J. M., y Pelegrín-Valero, C. (2005). Memoria y funciones ejecutivas. *Revista de Neurología*, 41(8), 475–484.
- Tomporowski, P. D., Lambourne, K., y Okumura, M. S. (2011). Physical activity interventions and children's mental function: an introduction and overview. *Preventive Medicine*, 52, 3–9.
- Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., y 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.
- Trejo, J. L., Carro, E., y Torres-Aleman, I. (2001). Circulating insulin-like growth factor I mediates exercise-induced increases in the number of new neurons in the adult hippocampus. *Journal of Neuroscience*, 21(5), 1628–1634.

- Ureña, N., Fernández, N., Cárdenas, D., Madinabeitia, I., y Alarcón, F. (2020). Acute effect of cognitive compromise during physical exercise on self-regulation in early childhood education. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(24), 9325.
- Valiente, C., Lemery-Chalfant, K., Swanson, J., y Reiser, M. (2008). Prediction of children's academic competence from their effortful control, relationships, and classroom participation. *Journal of Educational Psychology*, 100(1), 67.
- Van Praag, H. (2008). Neurogenesis and exercise: past and future directions. *Neuromolecular Medicine*, 10(2), 128–140.
- Van Praag, H. (2009). Exercise and the brain: something to chew on. *Trends in Neurosciences*, 32(5), 283–290.
- Vera, J., Diaz-Piedra, C., Jiménez, R., Morales, J. M., Catena, A., Cardenas, D., y Di Stasi, L. L. (2016). Driving time modulates accommodative response and intraocular pressure. *Physiology & Behavior*, 164, 47–53.
- Vera, J., García-Ramos, A., Jiménez, R., y Cárdenas, D. (2017). The acute effect of strength exercises at different intensities on intraocular pressure. *Graefé's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology*, 255, 2211–2217.
- Vera, J., Jiménez, R., García, J. A., y Cárdenas, D. (2017). Intraocular pressure is sensitive to cumulative and instantaneous mental workload. *Applied Ergonomics*, 60, 313–319.
- Vera, J., Jiménez, R., García, J. A., Perales, J. C., y Cárdenas, D. (2018). Baseline intraocular pressure is associated with subjective sensitivity to physical exertion in young males. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 89(1), 25–37.
- Vera, J., Jimenez, R., Madinabeitia, I., Masiulis, N., y Cardenas, D. (2017). A maximal incremental effort alters tear osmolarity depending on the fitness level in military helicopter pilots. *The Ocular Surface*, 15(4), 795–801.
- Vera, J., Jiménez, R., Redondo, B., Cárdenas, D., De Moraes, C. G., y Garcia-Ramos, A. (2017). Intraocular pressure responses to maximal cycling sprints against different resistances: the influence of fitness level. *Journal of Glaucoma*, 26(10), 881–887.
- Verburgh, L., Königs, M., Scherder, E. J. A., y 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.
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., y Petrovic, P. (2012). Executive functions predict the success of top-soccer players. *PloS One*, 7(4), e34731.
- Voss, M. W., Chaddock, L., Kim, J. S., VanPatter, M., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Cohen, N. J., Hillman, C. H., y Kramer, A. F. (2011). Aerobic fitness is associated with greater efficiency of the network underlying cognitive control in preadolescent children. *Neuroscience*, 199, 166–176.

- Voss, M. W., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Chaddock, L., Kim, J. S., Alves, H., Szabo, A., Phillips, S. M., Wójcicki, T. R., y Mailey, E. L. (2013). Neurobiological markers of exercise-related brain plasticity in older adults. *Brain, Behavior, and Immunity*, 28, 90–99.
- Wang, C. A., y Munoz, D. P. (2015). A circuit for pupil orienting responses: implications for cognitive modulation of pupil size. *Current Opinion in Neurobiology*, 33, 134–140.
- Wang, C. H., Chang, C.-C., Liang, Y.-M., Shih, C.-M., Chiu, W.-S., Tseng, P., Hung, D. L., Tzeng, O. J. L., Muggleton, N. G., y Juan, C.-H. (2013). Open vs. closed skill sports and the modulation of inhibitory control. *PloS One*, 8(2), e55773.
- Wang, C. H., Chang, C.-C., Liang, Y.-M., Shih, C.-M., Muggleton, N. G., y Juan, C.-H. (2013). Temporal preparation in athletes: a comparison of tennis players and swimmers with sedentary controls. *Journal of Motor Behavior*, 45(1), 55–63.
- Wechsler, D. (1997). Wechsler adult intelligence scale-III. *San Antonio, TX: The Psychological Corporation*.
- Wechsler, D. (2006). *Test de inteligencia para niños WISC-III: manual*. Paidós.
- Weinstein, A. M., Voss, M. W., Prakash, R. S., Chaddock, L., Szabo, A., White, S. M., Wojcicki, T. R., Mailey, E., McAuley, E., y Kramer, A. F. (2012). The association between aerobic fitness and executive function is mediated by prefrontal cortex volume. *Brain, Behavior, and Immunity*, 26(5), 811–819.
- Whitehead, R., Butz, J. W., Kozar, B., y Vaughn, R. E. (1996). Stress and performance: An application of Gray's three-factor arousal theory to basketball free-throw shooting. *Journal of Sports Sciences*, 14(5), 393–401.
- Williams, A. M., Vickers, J., y Rodrigues, S. (2002). The effects of anxiety on visual search, movement kinematics, and performance in table tennis: A test of Eysenck and Calvo's processing efficiency theory. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 24(4), 438–455.
- Wilson, M. R., Vine, S. J., y Wood, G. (2009). The influence of anxiety on visual attentional control in basketball free throw shooting. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31(2), 152–168.
- Winfried, N., y Falk, S. (2011). Autonomic control of the eye and the iris. *Autonomic Neuroscience*, 165(1), 67–79.
- Wylęgała, A. (2016). The effects of physical exercises on ocular physiology: a review. *Journal of Glaucoma*, 25(10), e843–e849.
- Yamamoto, K., Sakamoto, Y., Irie, M., Ohmori, S., Yoshinari, M., y Kačaniku, G. (2008). The relationship between IMPS-measured stress score and intraocular pressure among public school workers. *Journal of Physiological Anthropology*, 27(1), 43–50.
- Yerkes, R., y Dodson, J. (1908). The Relation of Strength of Stimulus to Rapidity of Habit-formation. *J Comp Neurol Psychol*, 5, 330–336.

Young, J., Angevaren, M., Rusted, J., y Tabet, N. (2015). Aerobic exercise to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, 4.

Yuan, P., y Raz, N. (2014). Prefrontal cortex and executive functions in healthy adults: a meta-analysis of structural neuroimaging studies. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 42, 180–192.

AGRADECIMIENTOS

Hoy cierro una etapa muy importante en mi vida. Una etapa que no hubiera sido posible sin el apoyo y el amor de todas las personas que han estado a mi lado durante estos años. Por eso, hoy quiero expresar mi más profundo agradecimiento a cada uno de vosotros.

Me gustaría empezar mis agradecimientos hablando de mis raíces, de mi **familia**, quienes me han educado y han sido mi guía en la vida. Gracias a ellos me han transmitido valores que son importantes en el mundo de la investigación como el trabajo y sacrificio. Durante estos años, he vivido momentos de mucho estrés, pero mis hermanos **Carlos** e **Iñaki** siempre han estado ahí para ayudarme a desconectar y compartir nuestras pasiones. Mis padres han sido mi inspiración para alcanzar mis objetivos, y siempre con el permiso de mi madre **Lola**, considero que mi padre **Iñigo** se merece una mención especial. Él perteneció a la primera promoción del INEF de Granada y luchó junto a los suyos para que esta carrera existiera. Ahora, 30 años después, estoy aquí, defendiendo mi tesis doctoral en la facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Gracias a su ejemplo, he podido seguir sus pasos y hacer realidad mis sueños.

Quiero dar las gracias a mi director el **Dr. David Cárdenas**, quien me acogió hace ya ocho largos años mientras cursaba la carrera y ha hecho que conozca el fascinante mundo de la investigación. Me ha enseñado que investigar es una oportunidad para intentar mejorar la vida de las personas y de los deportistas. Además de ser un mentor académico excepcional, David ha sido un modelo a seguir en mi vida personal. Su perseverancia, su afán por ayudar a los demás y su autoexigencia son valores que he tratado de incorporar a mi forma de ser. Cada vez que lo veo, me inspira con su positivismo y su actitud ante los desafíos. Juntos hemos superado muchos retos, y estoy agradecido por el tiempo y la dedicación que me ha brindado. Ahora, espero poder devolverle todo lo que me ha dado y seguir aprendiendo de él en el futuro. En definitiva, su influencia en mi vida no solo se limita al ámbito académico, sino que ha sido fundamental en mi desarrollo personal y profesional.

Igualmente, no me quiero olvidar del **Dr. Francisco Alarcón**. Es un gran profesional en su campo, y he tenido la suerte de compartir con él muchos desafíos y

logros. Lo que más me impresiona de él es su habilidad para estar siempre al día con la literatura científica. Él entiende la importancia de estar actualizado en su campo y cómo esto puede mejorar la calidad de la investigación que hacemos. Además, su enfoque riguroso y su ética de trabajo son ejemplares y me han enseñado mucho acerca de cómo abordar los estudios. La pasión por el conocimiento que tiene es contagiosa, siempre dispuesto a aprender cosas nuevas y explorar nuevas áreas de investigación. Esta actitud me ha motivado a seguir creciendo como persona y a mantenerme enfocado en mi propio camino de aprendizaje y crecimiento. Estoy seguro de que esto es solo el comienzo de los retos y éxitos que podremos lograr juntos en el futuro.

Quiero tomar un momento para hablar sobre la persona más especial en mi vida: mi pareja, la maestra y doctora **Isabel**. Ella es una persona maravillosa en muchos sentidos. Además de ser increíblemente inteligente, tiene una personalidad que ilumina cualquier habitación en la que entra. Su capacidad para trabajar duro y su dedicación a alcanzar sus objetivos académicos y profesionales son verdaderamente impresionantes. Ella siempre ha sido una fuente de inspiración para mí, motivándome a perseguir mis propios sueños y metas con determinación y pasión. Su entusiasmo por aprender es contagioso, y siempre me anima a seguir aprendiendo y creciendo como persona. Lo que más admiro de ella es su personalidad amable, comprensiva y siempre dispuesta a ayudar a los demás. Su paciencia y dedicación hacia mí son incomparables, y estoy agradecido por todo el apoyo que me ha brindado a lo largo de los años. Hemos estado juntos casi nueve años, y cada día que pasa me siento más afortunado de tenerla en mi vida. Eres la razón por la que siempre recupero las fuerzas y sigo adelante. Juntos, hemos superado muchos desafíos y celebrado numerosos éxitos. Estoy emocionado por todo lo que el futuro nos depara juntos. Te quiero muchísimo.

No puedo dejar de lado todo lo que he vivido en estos últimos años. He aprendido mucho sobre mí mismo y sobre los demás. He aprendido que la perseverancia y el trabajo duro son clave para alcanzar los objetivos, pero también que la ayuda y el apoyo de las personas que nos rodean son esenciales para lograr el éxito, por lo que también quiero mencionar a todas las personas que han contribuido de alguna manera en este trabajo de investigación. A los deportistas que participaron en los estudios, a los profesionales que me ayudaron con el análisis de datos, y a todas aquellas personas que me brindaron su tiempo y su colaboración, gracias de corazón.

Cierro una etapa importante en mi vida, pero también comienzo una nueva etapa llena de retos y oportunidades. Esta tesis no es el final, sino sólo el principio. Espero seguir aprendiendo y creciendo en el mundo de la investigación, y poder aplicar nuestros hallazgos para mejorar la vida de las personas y de los deportistas. En definitiva, gracias a todos por estar aquí. Esta tesis no es sólo mía, es de todos nosotros. Ha sido un camino largo y difícil, pero gracias a vuestra ayuda y apoyo, lo he conseguido. Espero que podamos seguir compartiendo muchos éxitos juntos en el futuro.

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Agrupación datos descriptivos de las variables del estudio.

Table 2. Descriptive values of performance and perceived level of induced anxiety in each experimental condition.

Table 3. Descriptive values of intraocular pressure in each experimental condition and point of measurement.

Table 4. Summary descriptive statistics for the variables of the study.

Table 5. Summary descriptive statistics for the variables of the study.

Table 6. Region of interest analysis between groups.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Representación del modelo integrado de ansiedad y desempeño perceptivo-motor (tomado de Nieuwenhuys y Oudejans (2012).

Figura 2. Esquema de los elementos presentes en un ejercicio para manipular los niveles de incertidumbre.

Figura 3. Precisión del golpeo en las 3 series diferenciado en las dos condiciones experimentales.

Figura 4. Análisis de la varianza (ANOVA) de medidas repetidas de dos factores (condición experimental x serie) en: (a) precisión del pase y (b) nivel de frustración percibido por el jugador obtenido mediante el cuestionario NASA-TLX.

Figura 5. Regresión lineal entre nivel de frustración obtenido a través del cuestionario NASA TLX y precisión del pase en la tercera serie de la condición en la que se aplicó carga mental.

Figura 6. Regresión lineal entre ansiedad estado y precisión del pase en la serie 3 en la condición con carga mental.

Figure 7. Effects of the level of induced anxiety at the different points of measurement on intraocular pressure (IOP). In the x axis, baseline represents the average IOP value before any effort, and 20, 40, 60, 80, and 100 indicate the average IOP value after the free throw numbers 20, 40, 60, 80, and 100, respectively. Statistically significant effect for the level of induced anxiety at each point of measurement (* $P < .05$ and ** $P < .01$, respectively). Statistical significance of low induced anxiety versus high induced anxiety and medium induced anxiety, respectively (corrected † $\$P < .05$). Markers and error bars represent the mean and SE, respectively. All values are calculated across participants ($n = 18$).

Figure 8. Linear regression obtained between the changes in intraocular pressure and perceived levels of anxiety in the low-anxiety-induced (A), medium-anxiety-induced (B), and high-anxiety-induced (C) conditions. The linear equations are shown with the corresponding coefficient of determination (R^2). All values are calculated across the total sample ($n = 18$).

Figure 9. Flowchart of the participants of the study.

Figure 10. Physical condition manipulation check. Basketball group improves significantly in vo2 levels and strength in quadriceps. Fitness group (AER+R) improves in vo2 levels and strength in biceps and quadriceps. Control group did not obtain significant differences in any fitness test.

Figure 11. Group effects in executive functions. Basketball group significantly improved in working memory, Stroop part 3 and interference score, and the reaction time in flanker task incongruent part. Fitness group (AER+R) significantly improved in cognitive flexibility (note that in trail making test, less is better), and the reaction time in both congruent and incongruent parts of the flanker task. Control group significantly worsened in the accuracy of the flanker task in the congruent and incongruent trials but improved in the reaction time of the neutral part.

Figure 12. Significant differences between groups in Stroop test (left figure) and Flanker task (right image). Post-hoc analysis revealed that the basketball group improved significantly better than control group in the interference score of the Stroop test and the accuracy of the congruent trials in the flanker task.

Figure 13. Representation of the four regions-of-interest of the prefrontal cortex examined in this article. Blue: medial prefrontal cortex (MPFC; including anterior cingulate cortex, not shown); red: dorsal prefrontal cortex (DPFC); green: orbitofrontal cortex (OFC); violet: ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC). VBM, voxel-based morphometry.

Figure 14. Significant increments in the basketball (a) and concurrent training (b) groups in the ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC), middle prefrontal cortex (MPFC) and dorsal prefrontal cortex (DPFC). Control group did not get significant changes.

Figure 15. Significant differences between groups in the increment of ventrolateral prefrontal cortex (VLPFC), middle prefrontal cortex (MPFC) and dorsal prefrontal cortex (DPFC).

PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN

La presente Tesis Doctoral Internacional ha sido posible gracias a la financiación del proyecto DEP2017-8987-R, del programa de Investigación, Desarrollo e innovación Orientada a los retos de la Sociedad, del Ministerio de Economía y Competitividad del Reino de España.

PUBLICACIONES CIENTÍFICAS DERIVADAS DE ESTA TESIS DOCTORAL

1. Alarcón, F., Castillo-Díaz, A., **Madinabeitia, I.**, Castillo-Rodríguez, A., y Cárdenas, D. (2018). La carga mental deteriora la precisión del pase en jugadores de fútbol. *Revista de psicología del deporte*, 27(2), 155-164. [0.936 JCR; Q4].
2. Vera, J., Jiménez, R., Redondo, B., Madinabeitia, I., **Madinabeitia, I.**, López, F. A., y Cárdenas, D. (2019). Intraocular pressure as an indicator of the level of induced anxiety in Basketball. *Optometry and Vision Science*, 96(3), 164-171. [1.458 JCR; Q3].
3. **Madinabeitia, I.**, Alarcón, F., Chiroso, L.J., Pelayo, I., y Cárdenas, D. The cognitive benefits of basketball training compared to a combined endurance and resistance training regimen. *Scientific reports* (aceptado). [4.997 JCR; Q1].
4. **Madinabeitia, I.**, Alarcón, F., Esteban-Cornejo, I., y Cárdenas, D. Effects of a 4-month training program in basketball and fitness on prefrontal cortical structures in healthy university students (en revisión).

COMUNICACIONES Y PONENCIAS

1. La carga mental deteriora la precisión del pase en jugadores de fútbol. IV Congreso Internacional en Optimización del Entrenamiento y Readaptación Físico-Deportiva. Fundación San Pablo. 2018. España.
2. Mental workload impairs the pass precision in soccer players. SEJYD symposium. SEJYD. 2018. España.
3. Diseño de tareas para la mejora de las funciones ejecutivas en equipos de base. Jornadas de transferencia: de la ciencia a los entrenadores. Universidad de Murcia. 2021.
4. Basketball training overcomes the cognitive benefits of an endurance and resistant combined training regimen. 3.RD SEJYD MEETING. 2021.
5. Basketball training increase the benefits in executive functions compared to a concurrent training regimen in university students. 1st International congress "Promoting Brain Health Through Exercise Across the Lifespan". Junta Andalucía; Instituto andaluz del deporte. 2021.
6. El entrenamiento de baloncesto supera los beneficios cognitivos de un entrenamiento combinado de resistencia y fuerza. II Congreso investigación PTS. Universidad de Granada. 2022.
7. Nuevas Tendencias de Neurociencia en el Deporte. I Seminario Internacional Human Movement and Sport Science. Universidad de Murcia. 2022.
8. Un entrenamiento de 4 meses de baloncesto consigue un mayor beneficio cognitivo y aumento de estructuras cerebrales que un entrenamiento en fitness. XI Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Baloncesto «Las múltiples facetas del baloncesto: juego, ciencia y sociedad en tiempos de incertidumbre». Universidad del País Vasco. 2022. España.

ESTANCIAS DE INVESTIGACIÓN EN EL EXTRANJERO

Universidad de Roma “Foro Italico”, Roma, Italia. Laboratorio Profesor Francesco di Russo. 92 días.

Fecha del CVA	12/04/2023
---------------	------------

Parte A. DATOS PERSONALES

Nombre *	Iker		
Apellidos *	Madinabeitia Cabrera		
Sexo *	Hombre	Fecha de Nacimiento *	29/10/1992
DNI/NIE/Pasaporte *		Teléfono *	
URL Web			
Dirección Email	ikermadi@ugr.es		
Identificador científico	Open Researcher and Contributor ID (ORCID) *	0000-0001-6311-656X	
	Researcher ID		
	Scopus Author ID	57195335009	

* Obligatorio

A.1. Situación profesional actual

Puesto	Personal investigador		
Fecha inicio	2023		
Organismo / Institución	Universidad de Granada		
Departamento / Centro	Educación Física y Deportiva / Facultad Ciencias de la Actividad Física y del Deporte		
País		Teléfono	
Palabras clave			

A.2. Situación profesional anterior

Periodo	Puesto / Institución / País
2022 - 2022	Personal investigador / Universidad de Granada
2019 - 2021	Personal investigador / Universidad de Granada
2018 - 2019	Joven Personal Investigador financiado por el Programa Operativo de Empleo Juvenil (Fondos FEDER) / Universidad de Granada
2017 - 2017	Investigador, preparador físico, técnico deportivo / FUNDACION EMPRESA UNIVERSIDAD DE GRANADA

A.3. Formación académica

Grado/Master/Tesis	Universidad / País	Año
Curso Formación SuperLab	Bionic	2022
Curso Formación fNIRS	Bionic	2022
Curso Formación inicial Tobii Pro Eye Tracker	Tobii	2021
Curso Técnicas de Neuroimagen Avanzada	FIDMAG hermanas hospitalarias	2019
Máster en Investigación en Actividad Física y Deporte	Universidad de Granada	2017
Grado en Ciencias de la Actividad Física y el Deporte	Universidad de Granada	2016
Ciclo Superior de Técnico Superior en Actividades Físicas y Animación Deportiva (TSAFAD)	IES Sierra de Mijas / España	2012

Parte B. RESUMEN LIBRE DEL CURRÍCULUM

En el año 2014 empieza mi experiencia en el campo donde principalmente me he desarrollado profesionalmente, que es el de investigador en la Universidad de Granada. Comienzo

colaborando con el grupo de investigación HUM844 mientras realizaba mis estudios del Grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte. Fruto de esta experiencia, cursé el Máster en Investigación en Actividad Física y Deporte, y, actualmente, el programa de Doctorado en Ciencias de la Educación de la Universidad de Granada. El grupo de investigación se centra en investigar aquellos paradigmas y constructos cognitivos/emocionales que aparecen durante la práctica de ejercicio físico, tales como la carga mental, autorregulación emocional y desarrollo de capacidades cognitivas. Mi vinculación con el grupo de investigación se ha ido consolidando con el paso de los años, teniendo la oportunidad de obtener cuatro contratos competitivos y formar parte en proyectos de investigación: uno de la Junta de Andalucía fondos FEDER (18 meses) y otros tres del Ministerio para proyectos nacionales I+D+i (35 meses). También he sido IP de un proyecto de investigación para estudiantes pre-doctorales.

En la actualidad, tengo 12 publicaciones en revistas JCR entre las cuales varias de ellas se encuentran en primer cuartil. Por mencionar algunos estudios, hemos podido observar una relación entre la grasa visceral sobre la conectividad cerebral; cómo las estrategias emocionales actúan como predictor de un mayor aprovechamiento del entrenamiento y el efecto agudo y crónico de realizar ejercicio físico (con y sin carga mental) sobre las capacidades cognitivas (funciones ejecutivas) y cambios en estructuras cerebrales. Además, formé parte del equipo de trabajo de 5 proyectos de investigación de convocatorias nacionales/ autonómicas. Durante este tiempo, he podido desarrollarme en análisis avanzados, como la de estructuras cerebrales a través de resonancias magnéticas, oxigenación del cerebro a través del fNIRS, electro-encefalografía, y elaboración de tests cognitivos mediante el software SuperLab. A su vez, he podido formarme en la utilización de equipos de investigación tales como absorciometría de rayos X de energía dual (DEXA) la cual permite analizar la composición corporal y porcentajes de grasa; analizador de gases (umbrales aeróbicos/ anaeróbicos realizando pruebas de esfuerzo), pulsómetros para monitorizar la frecuencia cardiaca y la variabilidad de la frecuencia cardiaca, encoder lineal para la evaluación de la curva fuerza/velocidad y sistema de seguimiento visual mediante Eye Tracker.

También, formo parte del equipo de redacción de los libros de formación de entrenadores de la Federación Andaluza de Baloncesto, deporte que me he dedicado desde la niñez, llegando a ser entrenador en categorías de formación. Ahora mismo me encuentro impartiendo 6 créditos de docencia en la asignatura de Baloncesto en el grado de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte en la Universidad Loyola (Campus Córdoba), y estoy colaborando desde hace 5 años en las asignaturas de Perfeccionamiento y Especialización de Baloncesto en la Facultad de Ciencias del Deporte de Granada impartidas por el profesor David Cárdenas, quien también es mi mentor en la investigación. Estoy familiarizado con realizar ponencias, pues he participado en varios congresos científicos internacionales y nacionales, además de participar como experto en jornadas de formación para entrenadores (enlace de ejemplo: <https://www.youtube.com/watch?v=jQyWDIDUyp4> o puede buscarlo en Youtube escribiendo: Jornadas de transferencia Red SPAA 2022. IKER MADINABEITIA).

OTROS DATOS DE POSIBLE INTERÉS

Nivel C1 de inglés por la universidad de Cambridge, Titulado en Ciclo Superior de Técnico Superior en Actividades Físicas y Animación Deportiva (TSAFAD), entrenador de baloncesto (3 años como entrenador y ayudante de equipos federados de Granada) y monitor de Campus deportivos. Poseo carnet B de conducir y disponibilidad de movilidad. Me considero una persona con una gran capacidad de trabajo y esfuerzo, que sabe trabajar en grupo, y preparada para asumir y cumplir con altas responsabilidades (he sido el investigador principal de un proyecto de investigación de la UGR de un año de duración). También soy un amante del deporte, tanto por su vertiente competitiva y mejora personal, como por su valor social.

Parte C. MÉRITOS MÁS RELEVANTES

C.1. Publicaciones

AC: Autor de correspondencia; (nº x / nº y): posición firma solicitante / total autores. Si aplica, indique el número de citaciones

- 1 **Artículo científico.** I. Madinabeitia; F. Alarcón; L.F. Chiroso; I. Pelayo; D. Cárdenas. 2023. The cognitive benefits of basketball training compared to a combined endurance and resistance training regimen. *Scientific Reports*.
- 2 **Artículo científico.** A. Gutiérrez Capote; Iker Madinabeitia Cabrera; E. Torre; F. Alarcón; J. Jiménez Martínez. 2023. Changes in Perceived Mental Load and Motor Performance during Practice-to-Learn and Practice-to-Maintain in Basketball. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 20-5.
- 3 **Artículo científico.** Iker Madinabeitia Cabrera; Bernardo Perez; Miguel Ángel Gómez Ruano; David Cárdenas Vélez. 2022. Determination of basketball players' high-performance profiles in the Spanish League *International Journal of Performance Analysis in Sport*.
- 4 **Artículo científico.** G. González; Iker Madinabeitia; N. Ureña; F. Alarcón. 2021. Relative Age Effect and Biological Maturation on Inhibitory Control of Motor Response in Basketball *Revista de Psicología del Deporte (Journal of Sport Psychology)*. 30-2.
- 5 **Artículo científico.** P. Camacho; D.A. Cruz; Iker Madinabeitia; F.J. Giménez; D. Cárdenas. 2021. Time constraint increases mental load and influences in the performance in small-sided games in basketball *Research Quarterly for Exercise and Sport*. 92-3.
- 6 **Artículo científico.** N. Ureña; N. Fernández; D. Cárdenas; Iker Madinabeitia Cabrera; F. Alarcón. 2020. Acute Effect of Cognitive Compromise during Physical Exercise on Self-Regulation in Early Childhood Education *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 17-24.
- 7 **Artículo científico.** D. Cárdenas; Iker Madinabeitia Cabrera; Vera J.; C. de Teresa; F. Alarcón; A. Catena. 2020. Better brain connectivity is associated with higher total fat mass and lower visceral adipose tissue in military pilots *Scientific reports*. 10-1.
- 8 **Artículo científico.** D. Cárdenas; Iker Madinabeitia Cabrera; F. Alarcón; J.C. Perales. 2020. Does Emotion Regulation Predict Gains in Exercise-Induced Fitness? A Prospective Mixed-Effects Study with Elite Helicopter Pilots. *International journal of environmental research and public health*. 17-11.
- 9 **Artículo científico.** J. Vera; R. Jiménez; Iker Madinabeitia Cabrera; I. Madinabeitia Arroita-Jauregui; F. Alarcón; D. Cárdenas. 2019. Intraocular pressure as an indicator of the level of induced anxiety in Basketball *Optometry and Vision Science*. 96-3.
- 10 **Artículo científico.** Francisco Alarcón López; Alberto Castillo Díaz; Iker Madinabeitia Cabrera; Alfonso Castillo Rodríguez; David Cárdenas Vélez. 2018. Mental workload impairs the pass precision in soccer players. *REVISTA DE PSICOLOGIA DEL DEPORTE*. 27-2, pp.155-164.
- 11 **Artículo científico.** Cárdenas, D.; Madinabeitia, I.; Vera, J.; Perales, J.C.; García-Ramos, A.; Ortega, E.; Catena-Verdejo, E.; Catena, A. 2018. Strength, affect regulation, and subcortical morphology in military pilots *Medicine & Science in Sports & Exercise*.
- 12 **Artículo científico.** Alfonso Castillo Rodríguez; Iker Madinabeitia Cabrera; Alberto Castillo Díaz; David Cárdenas Vélez; Francisco Alarcón López. 2018. The impulsivity determines the role performed by futsal players. *REVISTA DE PSICOLOGIA DEL DEPORTE*. 27-2, pp.181-188.
- 13 **Artículo científico.** Vera, J.; Jimenez, R.; Madinabeitia, I.; Masiulis, N.; Cárdenas, D. 2017. A maximal incremental effort alters tear osmolarity depending on the fitness level in military helicopter pilots. *The Ocular Surface*.
- 14 **Libro de divulgación.** Iker Madinabeitia Cabrera; Javier Hernández; David Cárdenas Vélez. 2022. Edición libros Curso Entrenador de Nivel 2 de la Federación Andaluza de Baloncesto. Bloque dirección de equipos

C.2. Congresos

- 1 Alejandro Gutiérrez Capote; Iker Madinabeitia Cabrera; Jesús Jiménez Martínez; Francisco Alarcón López; David Cárdenas Vélez. EFECTOS DE MANIPULACIÓN DE LA DIFICULTAD DE LAS TAREAS DE ENTRENAMIENTO, ATENDIENDO A SUS DEMANDAS EJECUTIVAS, SOBRE LA CARGA MENTAL PERCIBIDA EN JUGADORAS DE ÉLITE DE BALONCESTO. XI Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Baloncesto «Las múltiples facetas del baloncesto: juego, ciencia y sociedad en tiempos de incertidumbre». Universidad del País Vasco. 2022. España.
- 2 Alejandro Gutiérrez Capote; Iker Madinabeitia Cabrera; Gonzalo Romero García; Jesús Jiménez Martínez; David Cárdenas Vélez. RESTRICCIONES EN EL GRADO DE LIBERTAD, ESPACIO Y TIEMPO INCREMENTAN LA CARGA MENTAL PERCIBIDA Y DISMINUYEN EL RENDIMIENTO MOTOR EN JUEGOS REDUCIDOS DE 1X1 DE BALONCESTO. XI Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Baloncesto «Las múltiples facetas del baloncesto: juego, ciencia y sociedad en tiempos de incertidumbre». Universidad del País Vasco. 2022. España.
- 3 Iker Madinabeitia Cabrera; Francisco Alarcón López; David Cárdenas Vélez. UN ENTRENAMIENTO DE 4 MESES DE BALONCESTO CONSIGUE UN MAYOR BENEFICIO COGNITIVO Y AUMENTO DE ESTRUCTURAS CEREBRALES QUE UN ENTRENAMIENTO EN FITNESS. XI Congreso Ibérico y IV Congreso Iberoamericano de Baloncesto «Las múltiples facetas del baloncesto: juego, ciencia y sociedad en tiempos de incertidumbre». Universidad del País Vasco. 2022. España.
- 4 Iker Madinabeitia Cabrera. La importancia de individualizar la carga mental en el entrenamiento. Jornadas de transferencia Red Sports Performance Analysis Association (SPAA) 2022. CONSEJO SUPERIOR DE DEPORTES. 2022. España.
- 5 Iker Madinabeitia. Nuevas Tendencias de Neurociencia en el Deporte. I Seminario Internacional Human Movement and Sport Science. Universidad de Murcia. 2022.
- 6 Iker Madinabeitia; Francisco Alarcón; Luis J. Chiroso; Ignacio Pelayo; David Cárdenas. EL ENTRENAMIENTO DE BALONCESTO SUPERA LOS BENEFICIOS COGNITIVOS DE UN ENTRENAMIENTO COMBINADO DE RESISTENCIA Y FUERZA. II CONGRESO INVESTIGACIÓN PTS. Universidad de Granada. 2022.
- 7 I. Madinabeitia; D. Cárdenas; F. Alarcón. Basketball training increase the benefits in executive functions compared to a concurrent training regimen in university students. 1st International congress "Promoting Brain Health Through Exercise Across the Lifespan". Junta Andalucía; Instituto andaluz del deporte. 2021.
- 8 D. Cárdenas; F. Alarcón; I. Madinabeitia. Basketball training overcomes the cognitive benefits of an endurance and resistant combined training regimen. 3.RD SEJYD MEETING. 2021.
- 9 Iker Madinabeitia. Diseño de tareas para la mejora de las funciones ejecutivas en equipos de base. Jornadas de transferencia: de la ciencia a los entrenadores. Universidad de Murcia. 2021.
- 10 Iker Madinabeitia; Carlos González; Raimundo Jiménez; Jesús Vera; Beatriz Redondo; Carolina Fernández; Sara López; David Cárdenas. El ejercicio físico moderado antes del vuelo disminuye la carga mental de los pilotos de helicóptero en formación. Ejército, Empresa y Conocimiento: Una alianza estratégica para el Horizonte 2035. Universidad de Granada. 2019.
- 11 Francisco Alarcón López; Alberto Castillo Díaz; Iker Madinabeitia Cabrera; Alfonso Castillo Rodríguez; David Cárdenas Vélez. Mental workload impairs the pass precision in soccer players. SEJYD symposium. SEJYD. 2018. España.
- 12 Francisco Alarcón López; Alberto Castillo Díaz; Iker Madinabeitia Cabrera; Alfonso Castillo Rodríguez; David Cárdenas Vélez. La carga mental deteriora la precisión del pase en jugadores de fútbol. IV Congreso Internacional en Optimización del Entrenamiento y Readaptación Físico-Deportiva. Fundación San Pablo. 2018. España.
- 13 Alfonso Castillo Rodríguez; Iker Madinabeitia Cabrera; Alberto Castillo Díaz; David Cárdenas Vélez; Francisco Alarcón López. La impulsividad determina el rol desempeñado por los jugadores de futsal. IV Congreso Internacional en Optimización del Entrenamiento y Readaptación Físico-Deportiva. Fundación San Pablo. 2018. España.

- 14 Jesús Vera; Raimundo Jiménez Rodríguez; Iker Madinabeitia Cabrera; Beatriz Redondo Cabrera; Rutenis Paulauskas; David Cárdenas Vélez. The association between intraocular pressure and blood pressure during a maximal incremental test.. European College of Sport Sciences. 2017. Alemania.
- 15 Iker Madinabeitia Cabrera; Jesús Vera; José César Perales; Amador García Ramos; Enrique Ortega; Elvira Catena Verdejo; Andrés Catena; David Cárdenas Vélez. Strength, affect regulation, and subcortical morphology in military pilots. International symposium active brains for all: Exercise, cognition, and mental health. 2017. España.

C.3. Proyectos y Contratos

- 1 **Proyecto.** Efecto de la manipulación de las variables contextuales del ejercicio físico sobre la carga mental y el rendimiento cognitivo, emocional y deportivo. (PROYECTOS DE I+D+i EN EL MARCO DEL PROGRAMA OPERATIVO FEDER ANDALUCÍA 2014-2020). David Cárdenas Vélez. (Universidad de Granada). 01/07/2021-30/06/2023. 45.000 €. Miembro del equipo de trabajo.
- 2 **Proyecto.** BENEFICIOS DE LA MANIPULACIÓN DE LA CARGA MENTAL DEL EJERCICIO FÍSICO Y EL NEUROFEEDBACK SOBRE EL RENDIMIENTO COGNITIVO, EMOCIONAL Y DEPORTIVO (Proyecto Nacional I+D+i DEP2017-8987-R). David Cárdenas Vélez. (Universidad de Granada). 01/01/2018-31/12/2021. Proyecto del programa de Investigación, Desarrollo e innovación Orientada a los retos de la Sociedad, del Ministerio de Economía y Competitividad del Reino de España.
- 3 **Proyecto.** Efecto de un protocolo de ejercicio físico sobre la carga mental, el estrés y el rendimiento cognitivo y conductual en vuelo de los pilotos de helicópteros en formación.. Iker Madinabeitia Cabrera. (Universidad de Granada). 01/01/2019-31/01/2019. 1.000 €. Programa de “Proyectos de Investigación Precompetitivos para Jóvenes Investigadores. Modalidad B Estudiantes de Doctorado” (1ª resolución) del Plan Propio de Investigación y Transferencia 2018
- 4 **Proyecto.** LA CONDICIÓN FÍSICA COMO MEDIADOR DEL IMPACTO DE LA CARGA MENTAL EXPERIMENTADA POR PILOTOS DE AVIACIÓN MILITARES (Proyecto Nacional I+D+i DEP2013-48211-R). Ministerio de Economía y Competitividad, Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación; Convocatoria 2013 de Proyectos I+D de Excelencia. David Cárdenas Vélez. (Universidad de Granada). 01/01/2014-31/12/2017. Proyecto del programa de Investigación, Desarrollo e innovación Orientada a los retos de la Sociedad, del Ministerio de Economía y Competitividad del Reino de España.

C.5. Estancias en centros de I+D+i públicos o privados

University of Rome "Foro Italico". Scienze motorie. Italia. Roma. 01/03/2022-01/06/2022. 92 días. Doctorado/a.

