

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALENCIA

“SAN VICENTE MÁRTIR”



*RELACIÓN ENTRE EJERCICIO FÍSICO REGULAR Y VIGILANCIA:
INFLUENCIA DE LA CONDICIÓN FÍSICA Y DIFERENTES TIPOS DE PRÁCTICA
DEPORTIVA*

*Relationship between regular physical exercise and vigilance: Influence of
different types of sport expertise and cardiovascular fitness*

TESIS DOCTORAL

PRESENTADA POR:

D. Rafael Ballester Lengua

DIRIGIDA POR:

Dr. D. Florentino Huertas Olmedo

Dr. D. Carlos Pablos Abella

Valencia, 2017

Dr. D. Florentino Huertas Olmedo, director de tesis, Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”.

Dr. D. Carlos Pablos Abella, directora de tesis, Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”.

CERTIFICAN:

Que la presente tesis doctoral titulada *Relación entre ejercicio físico regular y vigilancia: influencia de la condición física y diferentes tipos de práctica deportiva*, ha sido realizada por D. Rafael Ballester Lengua bajo nuestra dirección, en el Programa de Doctorado de “Ciencias de la Salud” para la obtención del título de Doctor por la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

Para que así conste a los efectos legales oportunos, se presenta esta tesis doctoral y se extiende la presente certificación en Valencia a del 2017.

Fdo.: Dr. D. Florentino Huertas
Olmedo

Fdo.: Dr. D. Carlos Pablos Abella

Agradecimientos

Una vez llegado el final de esta etapa quiero acordarme y sobre todo agradecer, el apoyo de todas las personas que me han acompañado en este camino. Esta tesis es el producto final de cuatro años de trabajo y mucho sacrificio a nivel personal. Me siento muy afortunado de haber contado en el proceso, con la comprensión y el cariño de las personas de mi entorno.

En primer lugar, quiero agradecer a mis directores por el gran esfuerzo realizado y por el tiempo que me han dedicado a lo largo de todo el proceso. A Floren, por iniciarme en el mundo de la investigación, por su paciencia, y por su enorme dedicación. Gracias por guiarme y aconsejarme, y sobre todo por ser un referente tanto a nivel profesional como humano. A Carlos, por su total confianza, por sus sabios consejos y por estar siempre ahí. A Daniel Sanabria, por todo lo que me ha exigido y enseñado, sin su aportación este trabajo seguro que no habría sido el mismo.

Thanks to Prof. Simon Bennet and Prof. Caterina Pesce for giving me the opportunity to become part of their research groups during my stay in Liverpool and Rome, and specially for making this period enjoyable and fruitful. Caterina I will always be grateful for your valuable contribution to the present work.

No quiero olvidarme tampoco de Francesc, Paco, Chelo,... las personas que en su día formaron parte de la línea de investigación “Atención y Control Motor”, por ser primero compañeros, y espero que por siempre amigos.

También me gustaría agradecer a la Universidad Católica de Valencia y a los compañeros de la facultad de Ciencias de la Actividad Física que aportaron su granito de arena académica o personalmente para que este trabajo pudiera llevarse adelante.

Por último y más importante, a mis suegros y Plasi, por su cariñosa acogida y por ayudarme siempre en todo lo que estaba a su alcance. A Cris, por acompañarme en este y en todos mis proyectos, por perdonar mis ausencias, por su cariño, paciencia y actitud positiva. A mis tíos, mis padres y mi hermana, por su amor y por todos los valores que me han inculcado desde pequeño, soy muy afortunado de tenerlos, nunca habrá un *yo* sin *vosotros*.

A la familia i el meu avi Carlos,

la teua llum mai s'apaga.

Publicaciones de la tesis doctoral

Ballester, R., Huertas, F., Yuste, F. J., Llorens, F., & Sanabria, D. (2015). The relationship between regular sports participation and vigilance in male and female adolescents. *PLoS One*, *10*(4), e0123898.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123898>

Ballester, R., Huertas, F., Yuste, F. J., Molina, E., & Sanabria, D. (2017). Sport participation and vigilance in children: Influence of different sport expertise, *Journal of Sport and Health Science*,

<http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2017.05.008>

Ballester, R., Huertas, F., Pablos, C., Llorens, F., & Pesce, C. (2017). Sport expertise and the modulation of vigilance and inhibitory control, *Psychology of Sport and Exercise*, (2017), *Under Review*

Los estudios presentados en esta tesis han sido financiados a través de una ayuda para la contratación de personal investigador en formación de la Universidad Católica de Valencia, un contrato de investigación predoctoral del Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (FPU13-05605) dentro del programa nacional de *Formación del Profesorado Universitario* (FPU), y dos ayudas para la realización de estancias en el extranjero en la *Liverpool John Moores University* y la *Università degli Studi di Roma "Foro Italico"*, dentro del programa FPU.

Índice General

Índice de Tablas	15
Índice de Figuras	17
Índice de Abreviaturas	19
CAPÍTULO I. RESUMEN GENERAL	21
1.1.Resumen.....	23
1.2.Abstract.....	24
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	25
2.1.Introducción.....	27
2.2.Relación ejercicio físico regular y el funcionamiento cognitivo.....	29
2.2.1. Influencia de los aspectos cuantitativos en la relación entre ejercicio físico y funcionamiento cognitivo: la condición física cardiovascular.....	31
2.2.2. Influencia de los aspectos cualitativos del ejercicio físico en su relación con el procesamiento cognitivo: la maestría deportiva.....	37
2.3.Contextualización y relevancia de la atención.....	47
2.3.1. Modelo atencional de Posner.....	47
2.3.2. Contextualización de la vigilancia.....	51
2.4.Relación entre el ejercicio físico-deportivo regular y la vigilancia.....	54
2.4.1. Relación entre la condición física y la vigilancia.....	54
2.4.2. Relación entre los aspectos cualitativos del ejercicio y la vigilancia.....	64
CAPÍTULO III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN	69
3.1.Planteamiento de la Investigación y Objetivos.....	71
3.1.1. Objetivos del Estudio 1. Efecto de la práctica deportiva regular durante la niñez y la adolescencia temprana sobre la vigilancia.....	72

3.1.2. Objetivos del Estudio 2. Variables moduladoras de la relación entre la práctica deportiva regular y la vigilancia durante la niñez.....	73
3.1.3. Objetivos del Estudio 3. Variables moduladoras de la relación entre la práctica deportiva regular y la vigilancia en adultos jóvenes.....	74

CHAPTER IV. EXPERIMENTAL SERIES 75

4.1.Experiment 1	77
4.1.1. Introduction.	79
4.1.2. Methods.	81
4.1.3. Results.	86
4.1.4. Discussion.....	90
4.2.Experiment 2	97
4.2.1. Introduction.	99
4.2.2. Methods.	101
4.2.3. Results.	105
4.2.4. Discussion.....	109
4.3.Experiment 3	115
4.3.1. Introduction.	117
4.3.2. Methods.	121
4.3.3. Results	126
4.3.4. Discussion.....	135

CAPÍTULO V. DISCUSIÓN GENERAL 143

5.1.El rol mediador de la capacidad cardiovascular sobre el rendimiento de la vigilancia.	145
5.1.1. Hipótesis de la mejora selectiva.	151
5.2.El papel de los aspectos cualitativos de la práctica deportiva sobre el rendimiento en vigilancia.....	154

5.2.1. Hipótesis de las habilidades cognitivas.	157
5.3. Influencia de las demandas perceptivo-cognitivas de la tarea atencional.	159
5.4. El rol del desarrollo evolutivo en la relación entre práctica deportiva y vigilancia.	161
5.5. Ejercicio regular y funcionamiento cognitivo: una asociación compleja y multifactorial.	162
5.6. Hacia una propuesta integradora en la relación entre la práctica de ejercicio regular y la vigilancia.	165
5.6.1. Demandas Cognitivas del Ejercicio Físico.	165
5.6.2. Demandas Coordinativas del Ejercicio Físico.	166
5.6.3. Demandas Psicosociales y Comportamentales del Ejercicio Físico.	168
 CAPÍTULO VI. CONCLUSIONES GENERALES	171
6.1. Conclusiones Generales.	173
6.2. General Conclusions.	175
Referencias Bibliográficas	177
Anexos.....	201

Índice de Tablas

Tabla 1. <i>Estudios de revisión y meta-análisis que han investigado la relación entre EF y rendimiento cognitivo.</i>	30
Tabla 2. <i>Estudios investigando la relación entre condición física y vigilancia.</i>	63
Tabla 3. <i>Mean (SD) of participants' demographic, fitness, PVT results and scores in the visual analogue scales.</i>	86
Tabla 4. <i>Correlation analysis between independent and dependent continuous variables.</i>	90
Tabla 5. <i>Mean (SD) of participants' demographic, fitness, PVT and scores in the K-BIT and BIS-11 scale.</i>	106
Tabla 6. <i>Mean (SE) of participants' demographic, fitness, coordination, PVT and Oddball task performance indicators.</i>	129
Tabla 7. <i>Hierarchical regression models testing moderated prediction of the PVT and Oddball Task indicators of performance.</i>	134

Índice de Figuras

<i>Figura 1. Evolución del número de publicaciones por año investigando la relación entre “ejercicio físico” y “funcionamiento cognitivo”</i>	27
<i>Figura 2. Mediador único en la relación entre EF y funcionamiento cognitivo...</i> ¡Error! Marcador no definido.	
<i>Figura 3. Integrative Neuromuscular Training (INT)</i>	43
<i>Figura 4. Redes atencionales Posner</i> ¡Error! Marcador no definido.	
<i>Figura 5. Mean RT as a function of time on task and group</i>	88
<i>Figura 6. Lapses as a function of time on task and group</i>	89
<i>Figura 7. Mean RT(ms) in function of sport expertise</i>	108
<i>Figura 8. Mean RT(ms) per group and speed demands of the task</i>	109
<i>Figura 9. Procedure illustration of the Soda Pop Test</i>	125
<i>Figura 10. Heart rate evolution during the completion of the physical test</i>	126
<i>Figura 11. Mean RT as a function of sport expertise</i>	131
<i>Figura 12. RT Variability as a function of sport expertise</i>	131
<i>Figura 13. Commission and Omission Errors as a function of sport expertise</i>	133
<i>Figura 14. Rol mediador único de la condición física cardiovascular en la relación entre ejercicio físico y funcionamiento cognitivo</i>	163
<i>Figura 15. Rol de diferentes mediadores y cadenas mediacionales en la relación entre ejercicio físico y funcionamiento cognitivo</i>	164

Índice de Abreviaturas

ACF: Alto nivel de Condición Física	fMRI: <i>Functional Magnetic Resonance Imaging</i>
ADHD: <i>Attention Deficit Hiperactivity Disorder</i>	HR: <i>Heart Rate</i>
ANOVA: <i>Analysis of Variance</i>	HR_{max}: <i>Maximal Heart Rate</i>
ANT: <i>Attentional Network Test</i>	HR_{rest}: <i>Resting Heart Rate</i>
ANT-I: <i>Attentional Network Test Interactions</i>	HRR: <i>Heart Rate Recovery</i>
BCF: Bajo nivel de Condición Física	IMC: Índice de Masa Corporal
BDNF: <i>Brain-Derived Neurotrophic Factor</i>	IQ: <i>Intelligence Quotient</i>
BMI: <i>Body Mass Index</i>	INT: <i>Integrative Neuromuscular Training</i>
BIS: <i>Barrat Impulsiveness scale</i>	K-BIT: <i>Kaufman Brief Intelligence Test</i>
CE: <i>Commission Errors</i>	MAP: <i>Mental and Physical Training</i>
CF: Condición Física	Nd: <i>ERP Negative difference</i>
CNV: <i>Contingent Negative Variation</i>	OE: <i>Omission Errors</i>
CPT: <i>Continuous Performance Task</i>	OMS: Organización Mundial de la Salud
EEG: Electroencefalografía	PA: <i>Physical Activity</i>
EF: Ejercicio Físico	PVT: <i>Psychomotor Vigilance Task</i>
EP: <i>Externally-Paced</i>	RC: Rendimiento Cognitivo
ERPs: <i>Event Related Potentials</i>	RT: <i>Reaction Time</i>

RT_{var}: *Reaction Time Variability*

RW: *Relative Power*

SART: *Sustained Attention to Response*

Task

SD: *Standard Deviation*

SNC: Sistema Nervioso Central

SP: *Self-Paced*

TTE: *Time to Exhasustion*

TR: Tiempo de Reacción

TDAH: Trastorno de Déficit de
Atención e Hiperactividad

VFC: Variabilidad de la Frecuencia
Cardíaca

VO²_{max}: Consumo máximo de oxígeno

W: *Watts*

CAPÍTULO I

RESUMEN GENERAL

1.1. Resumen.

El objetivo principal de la presente tesis fue investigar la relación entre la práctica regular de ejercicio y la vigilancia, evaluando la influencia de posibles variables moduladoras en esta asociación, como la condición física cardiovascular y diferentes tipos de maestría deportiva. Para ello, se planteó una serie experimental conformada por tres estudios. En el primer estudio se investigó la relación entre la práctica deportiva regular y la vigilancia en adolescentes. Para cumplir tal propósito, utilizamos la tarea de vigilancia psicomotora (PVT) para evaluar la vigilancia y un test físico ampliamente utilizado en adolescentes y niños (Léger Test) para evaluar la condición física cardiovascular de los participantes. En el segundo estudio con niños, se incluyó el análisis de los efectos de diferentes tipos de maestría deportiva (deportes con entorno estable *vs.* deportes con entorno cambiante) y una manipulación de las demandas de velocidad de respuesta de la tarea atencional utilizada. En el tercer estudio, se pretendió analizar si la relación entre la práctica deportiva y la vigilancia se mantendría en etapas posteriores del desarrollo evolutivo (jóvenes adultos). Además, para tratar de investigar si los efectos de la práctica deportiva sobre la vigilancia podrían estar modulados por el nivel de demanda perceptiva-cognitiva de la tarea cognitiva utilizada, los participantes completaron una tarea de vigilancia que requería la respuesta continuada a estímulos y reducidas demandas de control inhibitorio (PVT), y una tarea atencional que requería la respuesta infrecuente a estímulos objetivos (paradigma *Oddball*), mientras que exigía mayores demandas perceptivas y de inhibición de respuesta. Nuestros hallazgos, apuntan a una relación positiva entre el funcionamiento cognitivo y la práctica deportiva, especialmente en modalidades deportivas que combinen demandas físicas y mentales.

1.2. Abstract.

The main aim of the present thesis was to investigate the relationship between regular exercise and vigilance, evaluating the influence of potential modulating variables on this association, such as cardiovascular fitness and different types of sport expertise. To accomplish this purpose, an experimental series consisting of three studies was proposed. The first study investigated the relationship between regular sport participation and vigilance in adolescents. To fulfill this goal, we used the Psychomotor Vigilance Task (PVT) to evaluate vigilance performance and a physical test widely used in adolescents and children to evaluate cardiovascular fitness (Léger Test). In the second study with children, we included the analysis of the effects of different types of sports expertise (self-paced sports vs. externally-paced sports) and a manipulation of the speed response demands of the PVT. In the third study, we analyzed whether the relationship between different regular sport participation and vigilance would be maintained in later stages of the development (young adults). In addition, in order to investigate whether the effects of different types of sport expertise on vigilance performance could be modulated by the perceptual-cognitive demands of the cognitive task, participants completed an attentional task which required the continued response to stimulus and reduced inhibitory control demands (PVT), and an attentional task which required infrequent response to target stimulus (Oddball paradigm), and placed higher perceptual and inhibition control demands in the participants. Overall, our main findings point to a positive relationship between cognitive functioning and sport expertise, especially in sports modalities combining both physical and mental demands.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1.Introducción.

La práctica regular de ejercicio físico (EF) ha demostrado ser útil para prevenir diversas enfermedades cardiovasculares, pulmonares, músculo-esqueléticas o neurológicas (Booth, Chakravarthy, Gordon, & Spangenburg, 2002). Además, también se ha relacionado positivamente con diversos indicadores de salud mental como la reducción de los niveles de estrés, ansiedad o depresión (Eime, Young, Harvey, Charity, & Payne, 2013b, para revisión), así como con mecanismos y procesos cognitivos tales como la atención, la percepción o el aprendizaje (McMorris, Tomporowski, & Audiffren, 2009). Es por ello que, en las últimas décadas, las investigaciones que han abordado el estudio de la relación entre el EF y el funcionamiento cognitivo han experimentado un creciente foco de interés en la comunidad científica (ver Figura 1).

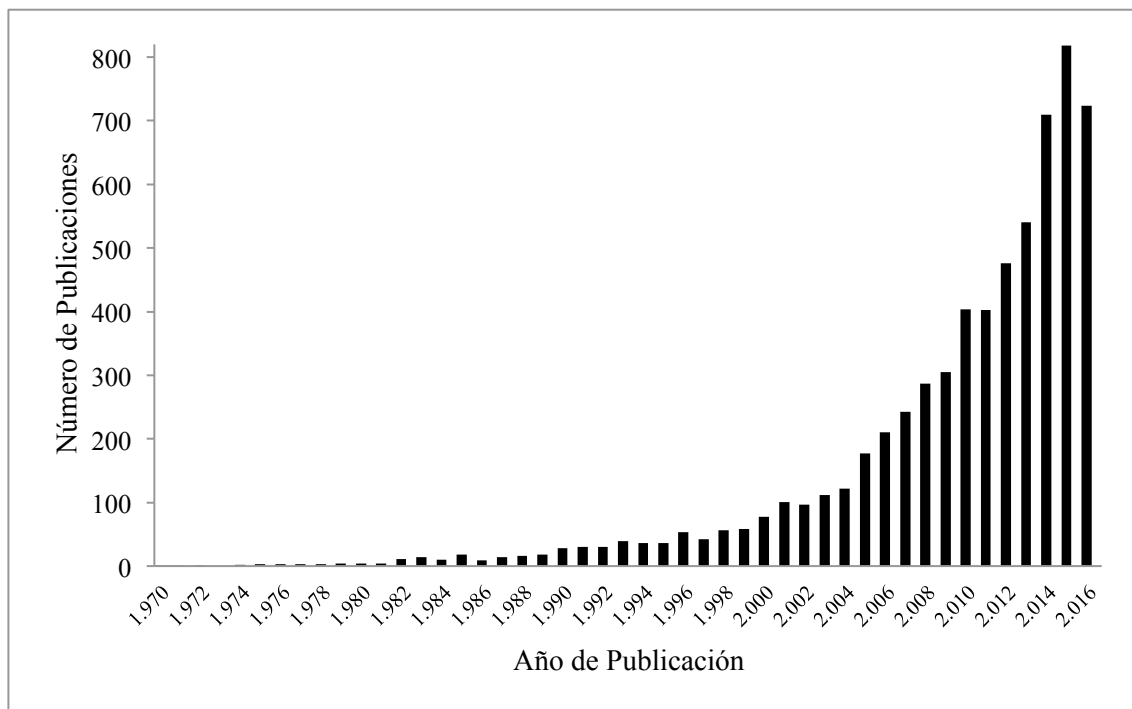


Figura 1. Evolución del número de publicaciones por año investigando la relación entre “ejercicio físico” y “funcionamiento cognitivo”. Fuente: Base de datos PUBMED.

Los efectos del ejercicio físico sobre el funcionamiento cognitivo se han analizado fundamentalmente desde dos vertientes diferenciadas, dependiendo de la regularidad de la aplicación de mismo: efectos de la práctica puntual y efectos de la práctica regular.

Los estudios que han investigado los efectos inducidos por un ejercicio físico agudo sobre el funcionamiento cognitivo, suelen analizar el efecto puntual de diferentes tipos de ejercicios sobre el funcionamiento cognitivo a muy corto, corto y medio plazo. Debido a la disparidad de aproximaciones para el estudio de esta relación, los investigadores han mostrado resultados diversos y, en muchos casos, incluso aparentemente contradictorios. De hecho, la literatura previa indica que diversas variables han mostrado su influencia en la relación entre ejercicio puntual y procesamiento cognitivo tales como: a) la intensidad y la duración del ejercicio, b) el tiempo transcurrido desde la finalización del esfuerzo a la realización de la tarea cognitiva, c) la función cognitiva evaluada, y d) la condición física y la habilidad en la toma de decisión de los participantes, entre otras (Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012, para meta-análisis).

Por otra parte, diversas investigaciones se han centrado en el estudio de los efectos de la práctica regular o crónica de ejercicio, mostrando un mayor consenso al señalar los efectos positivos de la práctica regular de EF sobre el funcionamiento cognitivo (McMorris, 2015). No obstante, todavía quedan por esclarecer diversas cuestiones como el estudio de funciones cognitivas o grupos poblaciones que han recibido menor atención por parte de la literatura, así como el estudio diferentes variables o mecanismos fisiológicos que subyacen a la relación entre EF y funcionamiento cognitivo.

La presente tesis doctoral trata de aportar nuevas evidencias empíricas que contribuyan al mejor entendimiento de los factores que intervienen y modulan la relación entre la práctica regular de EF y el funcionamiento cognitivo. Para ello, a lo largo del marco teórico, se realizará una revisión de las investigaciones más relevantes que se han desarrollado hasta el momento en este ámbito. En este apartado, se consideraran los diferentes paradigmas que han abordado el estudio de los efectos tanto de los aspectos cuantitativos como cualitativos del ejercicio en su relación con el funcionamiento cognitivo. Posteriormente, nos centraremos en analizar la asociación entre la práctica regular de EF y una función cognitiva en concreto, la vigilancia, que a pesar de su importancia capital en diferentes contextos, ha recibido una atención reducida por parte de los investigadores que han estudiado la relación entre ejercicio y cognición.

2.2. Relación ejercicio físico regular y el funcionamiento cognitivo.

Diversos investigadores han descrito la existencia de una relación positiva entre la práctica regular de EF y diversas funciones cognitivas (McMorris, Tomporowski, & Audiffren, 2009, ver Tabla 1), siendo especialmente amplio el interés por el estudio de esta relación en el control ejecutivo (ver revisiones de Best, 2010, con niños o Guiney & Machado, 2013, en diferentes grupos de edad). El control ejecutivo se define como un set de funciones cognitivas de alto nivel, responsables de la planificación, inicio, secuenciación y análisis de comportamientos complejos guiados por objetivos concretos. Estas funciones cognitivas de alto nivel se han enmarcado fundamentalmente en tres tipos de sub-procesos: a) inhibición, que implica la habilidad de filtrar información irrelevante para evitar respuestas innecesarias y selectivamente mantener la atención y el control sobre las propias acciones, b) memoria de trabajo, que refleja la

habilidad para almacenar y gestionar información mientras se realizan tareas cognitivas complejas, y c) flexibilidad cognitiva, que consiste en la habilidad de reestructurar la información y el conocimiento para adaptarse de manera eficiente a diferentes demandas situacionales (Diamond, 2013).

Tabla 1. Estudios de revisión y meta-análisis que han investigado la relación entre EF y rendimiento cognitivo. Fuente: Elaboración propia

Estudio	Tipo	Edad	Principales hallazgos
<i>Cox et al. (2016)</i>	Revisión K=14	18-50	Relación positiva débil entre EF y rendimiento cognitivo. Especialmente en control ejecutivo, seguidos de memoria y velocidad de procesamiento.
<i>Donnelly et al. (2016)</i>	Revisión K=64	5-13	Relación positiva entre EF, condición física y rendimiento cognitivo. No hay evidencia suficiente para establecer relación positiva entre EF y rendimiento académico.
<i>Diamond (2015)</i>	Revisión K=15	5-75	Relación positiva entre EF cognitivamente estimulante y rendimiento en control ejecutivo.
<i>Best (2010)</i>	Revisión K=3	7-11	Beneficios cerebrales a nivel estructural y funcional del ejercicio. Ejercicio aeróbico cognitivamente estimulante aporta mayores beneficios cognitivos que ejercicio aeróbico aislado.
<i>Smith et al. (2010)</i>	Revisión K=29	18	El entrenamiento aeróbico se asocia con beneficios modestos en atención y velocidad de procesamiento, control ejecutivo y memoria de trabajo.
<i>Keeley & Fox (2009)</i>	Revisión K=18	4-18	Relación positiva débil entre EF escolar incrementada y rendimiento cognitivo.
<i>Tomporowski, Davis, Miller, & Naglieri (2008)</i>	Revisión K=15	8-16	Relación positiva entre entrenamiento aeróbico y control ejecutivo. Beneficios cognitivos selectivos de la práctica regular de EF.
<i>Etnier, Nowell, Landers, & Sibley, 2006</i>	Meta-Regresión K= 37	10-90	Relación positiva entre EF y rendimiento cognitivo. No evidencia empírica concluyente a favor "hipótesis cardiovascular".
<i>Sibley & Etnier, 2003</i>	Meta-Análisis K=16	4-18	EF asociada con mejor rendimiento cognitivo.

K= Número de estudios incluidos.

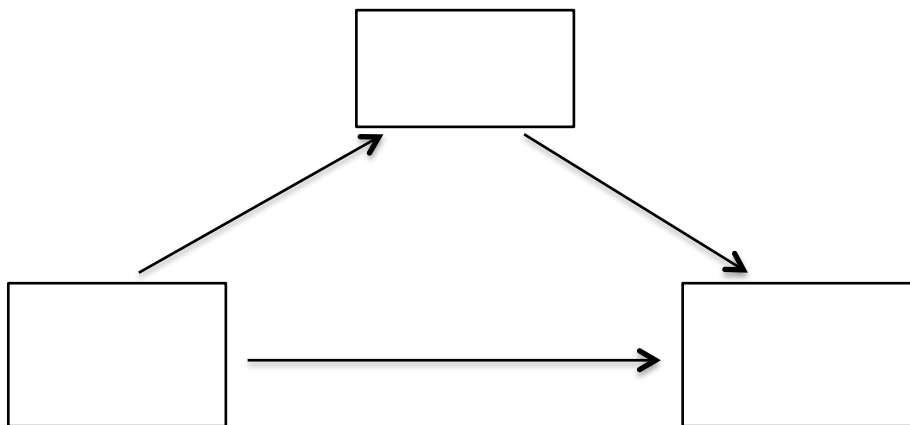
Los diversos estudios de revisión que han analizado la relación entre el funcionamiento cognitivo y la práctica regular de ejercicio, tanto en población infantil y adolescente, así como en adultos jóvenes y mayores, han reportado beneficios cerebrales a nivel funcional y estructural que se corresponden con un mejor rendimiento a nivel comportamental en diferentes tareas cognitivas (ver Tabla 1). A pesar de la aceptación por parte de la comunidad científica de los beneficios que el ejercicio físico regular aporta a nivel cognitivo (Biddle & Asare, 2011, para revisión de revisiones), no existe tal consenso a la hora de señalar la relevancia de las distintas variables que modulan la relación entre ejercicio y cognición.

La aproximación al estudio de la relación entre la práctica regular EF y el funcionamiento cognitivo se ha abordado desde diversos enfoques que podemos agrupar en dos vertientes claramente diferenciadas: a) los estudios centrados en los aspectos cuantitativos del ejercicio, donde predominan los trabajos que analizan el rol del ejercicio aeróbico y la capacidad física cardiovascular sobre el rendimiento cognitivo, y b) los estudios que investigan la influencia de los aspectos cualitativos del ejercicio, especialmente las demandas perceptivo-cognitivas de diferentes tipos de EF. En el siguiente apartado nos vamos a centrar en revisar la literatura que ha investigado los efectos de los aspectos cuantitativos del EF sobre el funcionamiento cognitivo, incidiendo especialmente en la variable que más atención ha recibido por parte de la literatura, la condición física cardiovascular.

2.2.1. Influencia de los aspectos cuantitativos en la relación entre ejercicio físico y funcionamiento cognitivo: la condición física cardiovascular.

Tradicionalmente, las investigaciones que han abordado la relación entre la práctica regular de EF y el funcionamiento cognitivo han apuntado explícita o

implícitamente hacia la influencia de la condición física cardiovascular en dicha relación. En los primeros estudios que investigaron la asociación ejercicio-cognición, se comparó el rendimiento cognitivo entre grupos de participantes que se diferenciaban en sus niveles de condición física (Chodzko-Zajko, Schuler, Solomon, Heini, & Ellis, 1992; Dustman et al., 1990). También se sucedieron en esta época los estudios que analizaron los efectos sobre el rendimiento cognitivo de intervenciones de EF (Blumenthal et al., 1991; Dustman et al., 1984), específicamente diseñadas para mejorar la condición física cardiovascular de los participantes. En estos estudios, las mejoras derivadas del entrenamiento aeróbico se vincularon a las mejoras observadas en el rendimiento cognitivo, destacando así, el rol mediador de la condición física en la relación entre EF y funcionamiento cognitivo. Es necesario matizar en este punto que en nuestro ámbito de investigación, se entiende el término “mediador” como el mecanismo generador a través del cual, el ejercicio físico influye positivamente sobre las funciones cognitivas (Etnier, 2008, ver Figura 2).



2.2.1.1. La hipótesis cardiovascular.

La hipótesis cardiovascular (del inglés, “*cardiovascular fitness hypothesis*”) sugiere que el mediador responsable de los beneficios que provoca la actividad física sobre el funcionamiento cognitivo es la condición física cardiovascular (Colcombe & Kramer, 2003; North, McCullagh, & Tran, 1990). Esta hipótesis propone que los cambios en la condición física cardiovascular están relacionados con mejoras en el flujo sanguíneo cerebral (Colcombe et al., 2004), en los niveles de BDNF (Vaynman, Ying, & Gomez-Pinilla, 2004), así como en la estructura y el funcionamiento cerebral (Chaddock, Pontifex, Hillman, & Kramer, 2011).

Diversas revisiones y meta-análisis han puesto de manifiesto la relación positiva entre el entrenamiento aeróbico y/o la condición física cardiovascular con el funcionamiento cognitivo (Colcombe & Kramer, 2003; Etnier et al., 1997; Sibley & Etnier, 2003). Por ejemplo, Etnier et al. (1997) mostraron hace dos décadas una relación positiva entre la práctica regular de ejercicio y el funcionamiento cognitivo, aunque criticaron el hecho de que el tamaño de este efecto aumentaba a medida que el rigor experimental de los estudios disminuía. Estos mismos autores analizaron el papel de los posibles mediadores en la relación entre ejercicio y cognición, sugiriendo que las pequeñas, aunque significativas mejoras en el funcionamiento cognitivo producidas por la práctica regular de ejercicio, podían deberse principalmente a tres tipos de factores: a) mecanismos fisiológicos independientes de la condición física aeróbica, b) mecanismos fisiológicos relacionados con la condición física aeróbica, que ocurrían antes que se manifestaran los cambios en la condición física aeróbica, o c) mecanismos fisiológicos independientes de la condición física aeróbica y de la práctica regular de ejercicio. De esta forma, a la luz de los resultados poco concluyentes de este meta-análisis, los autores instaron a los investigadores a seguir profundizando con mayor rigurosidad

metodológica, a través de estudios que no fueran únicamente de naturaleza transversal y correlacional, sino que además incluyeran ensayos clínicos aleatorizados para asignar a los participantes a las diferentes condiciones de intervención.

Unos pocos años más tarde siguieron proliferando los meta-análisis relacionados con esta temática. Por una parte, Colcombe & Kramer (2003) centraron su meta-análisis en 18 intervenciones con adultos sedentarios, intentando testar en este grupo poblacional la hipótesis de que el entrenamiento aeróbico favorecía una función cognitiva que acuñaron con el término de “vitalidad cognitiva” (del inglés “*cognitive vitality*”). Los principales resultados de este meta-análisis señalaron que los mayores beneficios cognitivos asociados a mejoras en la condición física se reportaron en tareas cognitivas específicamente diseñadas para medir el control ejecutivo de los participantes, siendo estos beneficios cognitivos derivados de la práctica regular de EF, sustancialmente menores o inexistentes en otro tipo de funciones cognitivas. Los autores también resaltaron que las intervenciones de larga duración que combinaban entrenamiento aeróbico con entrenamiento de fuerza, fueron las que mayores beneficios cognitivos reportaron. Otro meta-análisis llevado a cabo por Smith et al. (2010), mostró resultados en la misma línea que los citados anteriormente, reportando beneficios cognitivos moderados del entrenamiento aeróbico sobre la velocidad de procesamiento, la atención y el control ejecutivo, especialmente cuando este entrenamiento aeróbico era combinado con el entrenamiento de fuerza.

Es importante señalar que los resultados de los dos meta-análisis descritos anteriormente no fueron concluyentes en lo relativo a los beneficios generales que puede aportar la práctica deportiva sobre diferentes funciones cognitivas sino que, sobre todo, pusieron de manifiesto los beneficios selectivos que producía el entrenamiento aeróbico en determinadas funciones cognitivas. Este hecho, ha sido tradicionalmente

explicado en la literatura a través de la “hipótesis de mejora selectiva” (del inglés, “*selective improvement hypothesis*”), que propone que el entrenamiento aeróbico o un buen nivel de condición física se encuentra positivamente relacionado con estructuras y funciones cerebrales asociadas al control ejecutivo.

2.2.1.2. *La hipótesis de la mejora selectiva.*

La “hipótesis de mejora selectiva” fue planteada inicialmente por Kramer et al. (1999) en base a un estudio en el que evaluaron el efecto de un programa de entrenamiento aeróbico sobre distintas funciones cognitivas en un grupo de adultos mayores. Los resultados mostraron que los beneficios del entrenamiento aeróbico únicamente emergieron en aquellas tareas cognitivas con unas altas demandas de control ejecutivo.

Numerosos estudios han analizado la relación entre ejercicio aeróbico y control ejecutivo comparando grupos de niños y adolescentes de alta condición física (ACF¹) con grupos de baja condición física (BCF), observando que aquellos participantes con ACF mostraban diferencias en la estructura y en el funcionamiento cerebral asociadas a un mejor rendimiento comportamental en tareas con un alto componente de control ejecutivo (Hillman, Buck, Themanson, Pontifex, & Castelli, 2009; Hillman, Castelli, & Buck, 2005; Pontifex, Scudder, Drollette, & Hillman, 2012).

Por otra parte, es interesante resaltar que algunas aproximaciones empíricas (Smiley-Oyen, Lowry, Francois, Kohut, & Ekkekakis, 2008) y meta-análisis que han buscado testar específicamente la “hipótesis cardiovascular” y la “hipótesis de mejora selectiva” no han encontrado evidencias empíricas concluyentes a su favor (Angevaren, Aufdemkampe, Verhaar, Aleman, & Vanhees, 2008; Etnier et al., 2006). Por ejemplo,

¹ Esta comparación no toma como referencia la población general, sino que indica el grupo con mayor condición física de los analizados en cada estudio.

Etnier et al. (2006) realizaron una meta-regresión que analizó el tamaño del efecto de 37 estudios llevados a cabo con participantes de diferentes edades, concluyendo que la literatura no aportaba evidencia empírica suficiente a favor de la hipótesis cardiovascular. Esta conclusión se sostuvo fundamentalmente en los siguientes hallazgos: a) la incapacidad de los resultados de los análisis entre-grupos para demostrar la relación entre condición física y cognición, b) la relación negativa entre la condición física aeróbica y la mejora del rendimiento cognitivo demostrada por la comparaciones pre-post, y c) el porcentaje muy reducido de la varianza en los estudios transversales, explicado por la relación entre condición física y rendimiento cognitivo. Del mismo modo, Angevaren et al. (2008) tras su revisión de ensayos controlados aleatorizados con adultos mayores, en los que los participantes eran sometidos a diferentes programas de intervención basados en el entrenamiento aeróbico, concluyeron que la evidencia empírica era insuficiente para afirmar que las mejoras en el funcionamiento cognitivo atribuibles al ejercicio físico eran debidas a mejoras en la condición física de los participantes. Por todo ello, diversos autores apoyados por los hallazgos recurrentes de diversas revisiones y meta-análisis han manifestado que otras variables diferentes a la condición física pueden tener un rol importante para explicar la relación entre ejercicio y cognición (Best, 2010, Etnier et al., 2006; Pesce, 2012, para revisiones y meta-análisis). En este argumento han coincidido tanto investigadores especializados en el estudio de la maestría deportiva (Mann, Williams, Ward, & Janelle, 2007, para revisión), como investigadores que estudian la interacción entre ejercicio y cognición (Etnier et al., 2006; Voss, Kramer, Basak, Prakash, & Roberts, 2010, para revisiones), señalando a los aspectos cualitativos del ejercicio y a su relación con la mejora de las habilidades perceptivo-cognitivas de los deportistas, como un factor influyente en la relación entre ejercicio y cognición.

2.2.2. Influencia de los aspectos cualitativos del ejercicio físico en su relación con el procesamiento cognitivo: la maestría deportiva.

En las últimas décadas, la corriente investigadora que estudia la interacción entre ejercicio y cognición se está orientando hacia perspectivas basadas en los fundamentos neurocognitivos y psicofisiológicos que subyacen a la naturaleza selectiva de los efectos que produce el ejercicio físico sobre el funcionamiento cognitivo (Pesce, 2012).

Como se ha indicado en anteriores apartados, la práctica regular de ejercicio físico produce efectos diversos en las diferentes funciones cognitivas y, a su vez, diferentes tipos de ejercicios producen diferentes efectos en cada una de las funciones cognitivas (Diamond, 2015). De este hecho se deriva, que en los últimos años se haya iniciado un cambio en el paradigma empleado para abordar el estudio de esta relación, tomando mucha importancia una línea emergente de investigaciones que destacan el papel de los aspectos cualitativos sobre los aspectos cuantitativos del ejercicio en su relación con los beneficios cognitivos que aporta el ejercicio regular (Best, 2010; Pesce & Ben-Soussan, 2016; Pesce, 2012, para revisiones).

Dentro de este cambio de paradigma, cabe destacar las aportaciones de los investigadores que han estudiado el efecto de la maestría deportiva sobre el funcionamiento cognitivo. La maestría deportiva, se concibe como la capacidad de los atletas expertos de mostrar habilidades deportivas superiores que los deportistas no expertos y la población general (Janelle & Hillman, 2003). Entre estas habilidades, toman una importancia capital las habilidades perceptivo-cognitivas, las cuales permiten la identificación y adquisición de información contextual, integrándola con el conocimiento previo, para así seleccionar y ejecutar respuestas adecuadas (Marteniuk,

1976). Diversos estudios han mostrado que los atletas expertos poseen habilidades perceptivo-cognitivas superiores en la captación y selección de información, así como en la distribución de recursos atencionales (Mann et al., 2007, para revisión).

2.2.2.1. *Aproximación del rendimiento experto.*

Tradicionalmente, los investigadores que han estudiado la maestría deportiva han evaluado los atletas dentro de su ámbito deportivo o en un situación contextual similar a su entorno deportivo. Esta aproximación al estudio de la maestría deportiva, conocida como “*expert performance approach*”, ha mostrado que los atletas expertos muestran un rendimiento superior que los no-expertos y la población general en tests que evalúan la percepción y selección de información específica de su deporte, así como la memoria declarativa, la distribución del foco atencional y la toma de decisión específica de su contexto deportivo (Helsen & Starkes, 1999; Mann et al., 2007; Williams, Davids, & Williams, 1999, para revisiones). La aproximación al estudio de la maestría deportiva tiene mucho valor para evaluar las habilidades perceptivo-cognitivas que se requieren en cada deporte y por consiguiente, para identificar el talento. Sin embargo, este enfoque es menos apropiado cuando se pretende analizar si la maestría deportiva modula el rendimiento en habilidades cognitivas generales.

2.2.2.2. *Aproximación de las habilidades cognitivas generales. Hipótesis de transferencia amplia.*

Para analizar tal propósito se ha desarrollado la denominada aproximación de las habilidades cognitivas generales (del inglés, “*cognitive component skills approach*”), que estudia la relación entre la maestría deportiva y el rendimiento cognitivo en habilidades cognitivas generales que se encuentran relacionadas con las demandas cognitivas que se requieren en el contexto deportivo del atleta (Vincent Nougier, Stein,

& Bonnel, 1991).

A través de esta aproximación se evalúan las capacidades perceptivo-cognitivas de los deportistas por medio de tareas cognitivas que no simulan su contexto deportivo y que se llevan a cabo en un entorno alejado de este, como puede ser el laboratorio, pero que implican habilidades cognitivas generales que se pueden requerir en su deporte. Evidentemente, como han resaltado algunos autores, esta vía no captura fielmente la complejidad del entorno deportivo (Ericsson, 2003), pero sin embargo, tiene un potencial importante para identificar las habilidades cognitivas generales que se requieren en el contexto deportivo competitivo, y para reflejar los beneficios sobre funciones cognitivas fundamentales que puede aportar el entrenamiento deportivo (Voss et al., 2010). Esta premisa va en la línea de la “hipótesis de la transferencia amplia” (del inglés “*broad transfer hypothesis*”), que sugiere que la práctica de una actividad concreta (e.g. práctica deportiva) puede conllevar adaptaciones en funciones cognitivas generales que son transferibles a otros contextos (Furley & Memmert, 2011).

Con el objetivo de profundizar en esta hipótesis Voss et al. (2010) llevaron a cabo un meta-análisis en el que revisaron los efectos de diversos tipos de maestría deportiva sobre diversas funciones cognitivas que agruparon dentro de tres grandes grupos: orientación atencional (del inglés, “*attentional cuing*”), entendida como la capacidad de utilizar señales visual relevantes del entorno para anticipar la respuesta (Posner & Fan, 2008), velocidad de procesamiento, medida a través de la eficiencia de las respuestas en tareas de procesamiento de información (e.g., tiempo de reacción), y una última categoría de paradigmas atencionales variados, que comprendía tareas de atención espacial o dividida, que requerían la distribución eficaz de recursos atencionales hacia estímulos relevantes para evitar procesar los estímulos irrelevantes. Dado que en cada tipo de deporte se requiere de diferentes habilidades perceptivo-

cognitivas, en este meta-análisis también se tuvo en cuenta el tipo de deporte como un potencial moderador de la relación entre maestría deportiva y funcionamiento cognitivo. Por consiguiente, los autores agruparon los deportes en tres grandes grupos en función de las demandas perceptivas del entorno (Singer, 2000). De esta forma una categoría quedó conformada por deportes que los autores denominaron como *estáticos*, cuyo entorno es muy estable y predecible (e.g., natación, atletismo larga distancia,...), otra categoría de deportes denominados como *interceptivos*, definidos como aquellos que requieren la coordinación entre diferentes partes del cuerpo o alguna parte del cuerpo con un implemento (e.g., esgrima, tenis, artes marciales,...), y una última categoría de deportes denominados *estratégicos*, caracterizados por desarrollarse en un entorno cambiante y altamente impredecible, donde los deportistas deben simultáneamente procesar una cantidad sustancial de información de los oponentes, compañeros, su posición en el campo y de la pelota (e.g., fútbol, balonmano, rugby,...).

Los resultados de este meta-análisis revelaron que los deportistas en general, mostraron ligeramente mejor rendimiento en las categorías de velocidad de procesamiento y paradigmas atencionales variados. Atendiendo al rol moderador de los diferentes tipos de deportes, los practicantes de deportes *interceptivos* mostraron los efectos más significativos en la categoría de velocidad de procesamiento, seguidos por los deportistas procedentes de deportes *estratégicos*. Los autores relacionaron este hallazgo con el reportado por Mann et al. (2007) en su meta-análisis, en el que los deportistas procedentes de deportes *interceptivos* también mostraron los mayores efectos en medidas de velocidad de procesamiento específicas de su contexto deportivo. Los hallazgos de Voss et al. (2010), han permitido argumentar que la velocidad de procesamiento puede ser una de las medidas cognitivas generales cuyos efectos producidos por el entrenamiento pueden trascender más allá del contexto deportivo.

Respecto a la categoría de paradigmas atencionales variados, los autores también reportaron la existencia de un efecto positivo de la maestría deportiva, aunque la gran diversidad de tipos de paradigmas que se utilizaron para medir esta categoría hizo difícil extraer conclusiones relevantes. Por ejemplo, especialmente importantes fueron los efectos encontrados en las tareas de modulación espacial de la atención y en las tareas de flancos de Eriksen (detalladas en mayor profundidad en el apartado 2.3.1). En su conjunto, los resultados aportaron nuevas evidencias empíricas a favor de la aproximación de las habilidades cognitivas, resaltando los autores, el papel del contexto deportivo como un medio favorecedor de la plasticidad cerebral a través del entrenamiento perceptivo-cognitivo que conlleva adaptaciones cognitivas generales y específicas del deporte practicado.

Paralelamente a los investigadores que estudian la maestría deportiva, otro tipo de investigadores más centrados en la relación entre ejercicio y cognición han destacado la necesidad de seguir investigando sobre el rol de los aspectos cualitativos del ejercicio físico sobre el funcionamiento cognitivo (e.g., Best, 2010; Pesce & Ben Soussan 2016, para revisiones). Un claro ejemplo de este cambio de paradigma lo encontramos en la revisión desarrollada por Pesce (2012) titulada *“Shifting the focus from quantitative to qualitative exercise characteristics in exercise and cognition research”* o en el provocador título del artículo de Myer et al. (2015), *“Sixty minutes of what: A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach”*. Estos investigadores, han profundizado en la idea de que las ganancias a nivel cardiovascular o a través de otros mecanismos metabólicos, no son los únicos mediadores a través de los cuales el ejercicio físico impacta en el funcionamiento cognitivo. Destacando la relevancia de la estimulación neural que se desarrolla a través de la complejidad cognitiva y coordinativa de algunos tipos de ejercicio, que tienen una

incidencia especial sobre el funcionamiento cerebral (Curlik & Shors, 2013, para revisión). En este sentido, Pesce (2012) acuñó el novedoso término “*gross-motor cognitive training*”, que surge de la combinación del entrenamiento físico con el mental (MAP, del inglés “*Mental and Physical Training*”, Curlik & Shors, 2013), haciendo referencia a la implicación de las habilidades coordinativas y cognitivas durante la práctica de EF.

En este punto, es interesante reseñar el estudio de Anderson-Hanley et al. (2012), en el que 102 adultos mayores diferenciados en dos grupos se sometieron a 3 meses de entrenamiento en bicicleta estática vs. entrenamiento en bicicleta estática que simulaba un entorno de realidad virtual. Al finalizar el entrenamiento, los adultos que realizaron el mismo esfuerzo en la bicicleta estática pero en un entorno de realidad virtual, mostraron mejor rendimiento en diferentes tareas de control ejecutivo, concluyendo los autores que el entrenamiento que simultáneamente combina ejercicio físico con demandas cognitivas tiene un potencial mayor para prevenir el deterioro cognitivo. En la misma línea, los estudios de intervención que han empleado el entrenamiento físico y cognitivo combinado, han mostrado mayores efectos que el entrenamiento físico o cognitivo por separado (Curlik & Shors, 2013, para revisión).

Por lo que respecta a estudios centrados en niños y adolescentes, Myer et al. (2015) resaltaron la importancia de aprovechar la plasticidad del sistema nervioso durante esta etapa para optimizar el desarrollo de habilidades motoras y cognitivas, ya que el cerebro se encuentra reforzando las conexiones que se utilizan, realizando una “poda” neuronal, axonal y sináptica, de las que se encuentran infrautilizadas. Es por ello, que los autores propusieron un modelo conceptual de ejercicio, llamado INT (del inglés “*Integrative Neuromuscular Training*”) que, como se muestra en la Figura 3 combina ejercicios de fuerza, resistencia, equilibrio dinámico, ejercicios pliométricos, y

ejercicios de agilidad con *feedback* visomotor para mejorar la fuerza muscular y el desarrollo de las habilidades motoras fundamentales en un entorno divertido y mentalmente estimulante.

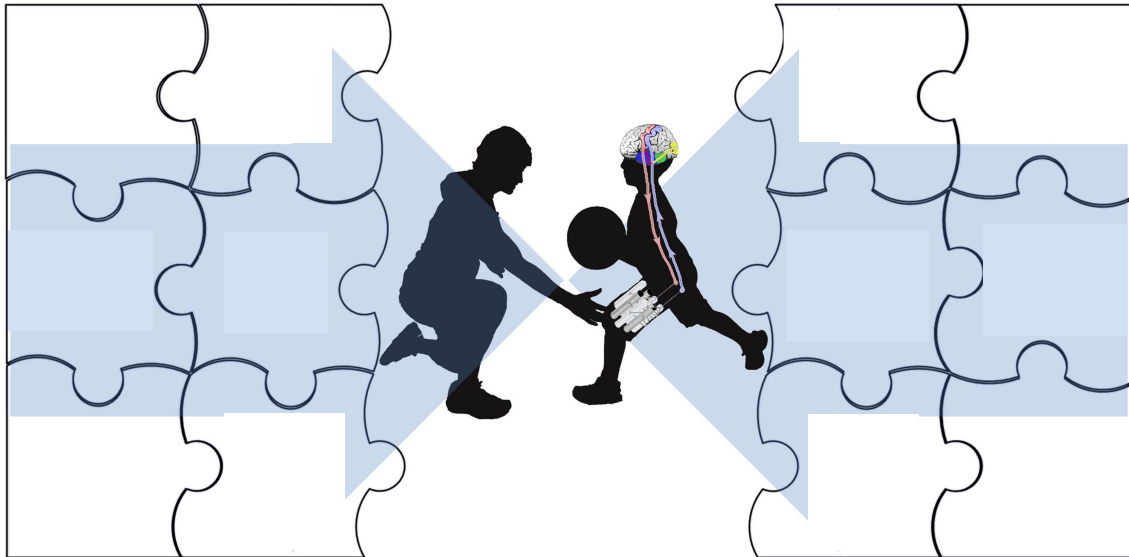


Figura 2. Integrative Neuromuscular Training (INT). Fuente: Modificado de Myer et al.(2015).

En su conjunto, los hallazgos de los estudios que han investigado los aspectos cualitativos del EF, apuntan a que un contexto deportivo donde se combina el entrenamiento físico (resistencia, fuerza, flexibilidad, equilibrio,...) con el entrenamiento cognitivo (atención, búsqueda visual, toma de decisiones,...), se puede concebir como un entorno óptimo para el desarrollo de las capacidades cognitivas específicas, pero también generales de los deportistas (Voss et al, 2010, para revisión). Por ejemplo, Chan, Wong, Liu, Yu, & Yan (2011) investigaron los efectos que producía la interacción entre maestría deportiva y diferentes niveles de condición física sobre el control ejecutivo, más concretamente sobre el control inhibitorio. Para ello compararon esgrimistas vs. no-esgrimistas con diferentes niveles de condición física (media vs. alta condición física). Los resultados mostraron una ausencia de diferencias en el control

inhibitorio entre los esgrimistas con niveles de condición física media y los no-esgrimistas con niveles de condición física media. Sin embargo, las diferencias derivadas de la maestría deportiva emergieron al comparar a ambos grupos de participantes con alto nivel de condición física. Los autores explicaron este resultado destacando que la condición física actuó como moderador en la relación entre maestría deportiva y control inhibitorio, sugiriendo que para beneficiarse de los efectos que produce la práctica deportiva de esgrima sobre el control inhibitorio, los participantes debían tener unos niveles considerables de condición física cardiovascular. No obstante, una importante limitación de este estudio vino determinada porque la medición de la condición física de los participantes estuvo basada en estimación indirecta a través de un cuestionario, y no en una medición directa a través de una prueba específicamente diseñada para ello, por lo que estos resultados deben interpretarse con cautela.

Es interesante destacar también en este punto, un estudio llevado a cabo con adultos mayores que investigó mediante técnicas de resonancia fMRI (del inglés “*functional Magnetic Resonance Imaging*”), la relación entre la condición física, las habilidades motoras y el funcionamiento cognitivo (Voelcker-Rehage, Godde, & Staudinger, 2010). Para ello, dividieron a los participantes en diferentes grupos en relación a su condición física (ACF vs. BCF) y sus habilidades motoras (altas vs. bajas), en base a su rendimiento en una batería de test físicos (fuerza y condición física cardiovascular) y motores (coordinación óculo-manual, coordinación óculo-pédica, equilibrio, agilidad y velocidad).

Los participantes completaron cuatro tareas cognitivas, dos de ellas basadas fundamentalmente en la búsqueda visual, enmarcadas dentro de una categoría que los participantes nombraron como velocidad perceptiva, y otras dos tareas de predominio de

control ejecutivo, más concretamente una tarea de memoria de trabajo y una versión modificada de la tarea de Flancos, en la que se registraron las medidas de fMRI.

Respecto a los resultados comportamentales, los análisis de regresión múltiple revelaron que las habilidades motoras fueron los únicos predictores significativos del rendimiento en las tareas de velocidad perceptiva, mientras que la condición física no tuvo valor predictivo en las dos tareas enmarcadas dentro de esta categoría. Respecto a las tareas de control ejecutivo, tanto en la tarea de memoria de trabajo como en la tarea de flancos, la condición física, las habilidades motoras y la interacción entre la condición física y las habilidades motoras emergieron como predictores significativos del modelo, destacado las habilidades motoras como la variable que mayor porcentaje de la varianza explicó. Por tanto, los resultados apuntaron a las habilidades coordinativas como un predictor más potente que la condición física para las diferentes tareas cognitivas.

Los resultados comportamentales fueron acompañados por datos de activación neural durante la tarea de Flancos, que expusieron patrones de activación diferenciados por grupos, comprobándose que altos niveles de condición física se relacionaban con una activación más focalizada de zonas prefrontales y temporales relacionadas con el control ejecutivo, mientras que altos niveles de habilidades motoras suponían una activación superior de zonas parietales involucradas en la coordinación visomotora y en el procesamiento visoespacial. De esta forma, los autores relacionaron las habilidades coordinativas con una mejor inhibición de distractores, mejor automatización de las respuestas motoras y una mejor integración y procesamiento de la información visoespacial. Todo ello les llevo a concluir, que tanto alto niveles de condición física, como especialmente elevadas habilidades motoras. estaban relacionados con una

activación neural más eficiente para cumplir las demandas de un tarea de control ejecutivo.

En resumen, en los últimos años la literatura que ha estudiado la relación entre ejercicio y cognición ha experimentado un cambio de foco del estudio de los elementos cuantitativos del EF (frecuencia, duración, intensidad, ganancias cardiovasculares,...) al estudio de los elementos cualitativos (complejidad cognitiva, complejidad coordinativa, componente socio-afectivo,...). Cabe destacar, por otra parte, que apenas unos pocos estudios realizados con adultos mayores han comparado los efectos producidos por un entrenamiento físico con los inducidos por la combinación del entrenamiento físico con el entrenamiento cognitivo (Anderson-Hanley et al., 2012; Fabre, Chamari, Mucci, Masse-Biron, & Prefaut, 2002; Oswald, Gunzelmann, Rupperecht, & Hagen, 2006), siendo también muy escasas las investigaciones que han abordado esta temática en la niñez (Pesce, Masci, Marchetti, Vazou, Sääkslahti, & Tomporowski, 2016; Schmidt, Jäger, Egger, Roebbers, & Conzelmann, 2015), e inexistentes las que lo han hecho en la adultez temprana. Además, la mayoría de estas investigaciones se han centrado en el efecto del ejercicio regular sobre el control ejecutivo (Best, 2010; Diamond & Lee, 2011, para revisiones), habiendo recibido el funcionamiento atencional en general, y la vigilancia en concreto, una atención muy reducida por parte de los investigadores. A continuación, pasamos a contextualizar el término atención, para describir brevemente la teoría atencional de Posner, y posteriormente centrarnos las principales características de la función cognitiva objeto de estudio de la presente tesis doctoral, la vigilancia.

2.3.Contextualización y relevancia de la atención.

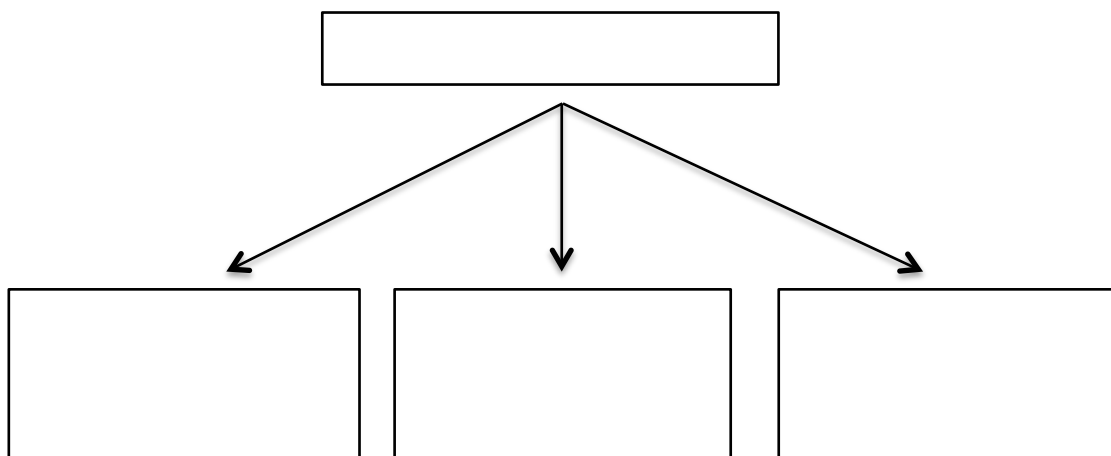
La conceptualización del término atención ha sufrido una evolución constante a lo largo de los años, tanto en el ámbito de la psicología comportamental (LaBerge, 1995; Parasuraman & Davies, 1984) como en el ámbito deportivo (Memmert, 2009; Williams et al., 1999).

Tradicionalmente se empezó definiendo la atención como un proceso poco flexible y pasivo de filtrado de información sensorial para poder procesar los estímulos relevantes obviando los distractores (Broadbent, 1958). Esta definición se basa en la premisa de que, al tener el ser humano unos recursos limitados para el procesamiento de toda la información contextual que procede del entorno, el sistema atencional sería el encargado de seleccionar y procesar únicamente aquella información relevante para llevar a cabo nuestros objetivos (Posner, 1980). Años más tarde, surgieron nuevas teorías (Posner, Snyder, & Davidson, 1980) que concibieron la atención como un mecanismo flexible que modula el procesamiento de la información para adaptarse activamente a las diferentes exigencias que plantea cada tarea (LaBerge, 1995, para revisión). En el siguiente subapartado desarrollaremos las características fundamentales de esta concepción que ha tenido un amplio seguimiento por parte de los investigadores que han estudiado el funcionamiento atencional.

2.3.1. Modelo atencional de Posner.

Para dar respuesta a tanta diversidad de concepciones sobre el término atención, Posner y colaboradores propusieron (Posner & Petersen, 1990) y posteriormente revisaron (Petersen & Posner, 2012) la teoría de las *Redes Atencionales*, una teoría integradora que propone que el procesamiento atencional se manifiesta de formas

distintas, debido a la existencia de varios subsistemas atencionales independientes, pero que interactúan entre sí. Estos autores defienden la existencia de un sistema modular encargado de procesar estímulos a través de tres redes neurofisiológicas asociadas a áreas cerebrales diferenciadas, aunque relacionadas entre sí, encargadas de funciones atencionales distintas: la Red Anterior o de Control Ejecutivo, la Red de Vigilancia o Alerta y la Red Atencional Posterior o de Orientación (ver Figura 4).



2.3.1.1. Red Atencional Anterior o de Control Ejecutivo

La Red Atencional Anterior o de Control Ejecutivo se encarga de ejercer el control voluntario sobre el procesamiento en situaciones que requieren algún tipo de planificación, desarrollo de estrategias, resolución de conflicto estimular o de respuesta (Posner & Raichle, 1997). Este tipo de procesamiento resulta fundamental en situaciones en las que existen diversas posibilidades de respuesta y se ha de tomar la mejor decisión con la mayor rapidez posible. Las principales áreas cerebrales relacionadas con esta red se localizan en la región dorsal del cíngulo anterior y en la

corteza lateral prefrontal, presentando múltiples conexiones con el resto de la corteza cerebral (Miller & Cohen, 2001).

Una de las formas de medir el funcionamiento de esta red consiste en evaluar el efecto de conflicto o de compatibilidad estímulo-respuesta. Para ello se suele comparar la eficiencia en la respuesta (rapidez y precisión) en situaciones en las que dos tipos de estímulos, relevantes y distractores, son congruentes o evocan respuestas compatibles, con una condición en la que los estímulos distractores son incongruentes con los estímulos relevantes, y por ello evocan a una respuesta incompatible. Por tanto, mientras se resuelve el conflicto entre estos estímulos incongruentes, la ejecución de la respuesta correcta se ve retrasada y somos más propensos a cometer errores que en los ensayos congruentes (Botvinick et al., 2004). A lo largo de los años se han propuesto diversas tareas atencionales (ANT, ANT-I, Stroop,...) para medir el rendimiento de esta función de control ejecutivo, siendo una de la más ampliamente utilizadas las tareas de flancos (Eriksen & Eriksen, 1974).

2.3.1.2. Red Atencional Posterior o de Orientación.

En cuanto a la Red Atencional Posterior o de Orientación, es la encargada de dirigir la atención hacia un lugar en el espacio o un momento en el tiempo donde puede aparecer el estímulo o estímulos relevantes para el desempeño de la tarea propuesta (Reynolds & Chelazzi, 2004). La captura atencional a partir de un estímulo externo novedoso o llamativo es conocida como *orientación atencional exógena o involuntaria* (Ruz & Lupiáñez, 2002). Sin embargo, la atención también puede dirigirse a los estímulos de acuerdo con las metas e intenciones de la persona. Este tipo de orientación atencional dirigida por las expectativas, creencias o propósitos de la propia persona es conocida como *orientación atencional endógena o voluntaria* y está relacionada con la

activación de un circuito ventral que incluye la unión temporo-parietal y las áreas ventrales de la corteza frontal (Corbetta, Patel, & Shulman, 2008).

2.3.1.3. Red Atencional de Vigilancia o Alerta

La Red Atencional de Vigilancia o Alerta es la encargada de mantener un estado preparatorio o de “*arousal*” general o alerta, puntual o mantenido en el tiempo, necesario para optimizar el procesamiento de los estímulos (Posner & Petersen, 1990). Por tanto, esta red permite al organismo mantener unos niveles de activación óptimos para estar preparado para reacciones rápidas (Fan, McCandliss, Sommer, Raz, & Posner, 2002). Con ello, permite ejecutar acciones a mayor velocidad aunque, en algunos casos, incidiendo en un incremento en el número de errores y en la cantidad de respuestas anticipadas (Castillo & Marín, 2006, para revisión).

Tradicionalmente se han diferenciado dos tipos de alerta (Posner & Fan, 2008, para revisión). Por una parte, la *alerta fásica*, que normalmente se genera de forma externa a través de la presentación de señales de aviso que anuncian la inminente llegada de un estímulo y cuyo incremento del nivel de activación es reversible y de corta duración. Este tipo de alerta implica una activación puntual de la atención durante el período que transcurre entre la señal de aviso y la presentación del estímulo. El patrón típico de resultados obtenidos por estudios realizados sobre el funcionamiento de la *alerta fásica* demuestran que aunque estas señales no informen del lugar, momento o identidad del estímulo objetivo, y por tanto sean inespecíficas, se responde más rápidamente a este ante la presencia de ellas que en su ausencia (Funes & Lupiáñez, 2003; Oken, Salinsky, & Elsas, 2006; Posner & Petersen, 1990). Sin embargo, tal incremento de la velocidad de respuesta suele ir acompañada por una menor precisión, es decir, se cometen más errores y/o anticipaciones. Este balance velocidad-precisión es un patrón muy consistente en estudios con este tipo de señales y podría estar indicando

que la señal de alerta nos prepara para dar una respuesta más rápida pero sin mejorar la velocidad de procesamiento del estímulo (Posner, Nissen, & Ogden, 1978).

Por otra parte, la *alerta tónica* o de *vigilancia* se refiere al tipo alerta que se genera, dotando al sistema cognitivo de un estado de vigilancia que se mantiene de forma duradera, y por tanto, está relacionada con el mantenimiento de un determinado nivel de activación durante un periodo prolongado de tiempo.

Una vez expuestas brevemente las diferentes formas de entender la atención, la teoría atencional de Posner y las principales características de las tres redes atencionales, vamos a pasar a describir el funcionamiento de la alerta tónica o vigilancia, ya que se trata de la función principal estudiada en nuestra serie experimental.

2.3.2. Contextualización de la vigilancia.

La vigilancia² es la función cognitiva que determina la capacidad de responder eficientemente a estímulos relevantes y distribuir los recursos atencionales de forma óptima para mantener la atención a lo largo del tiempo (Gunzelmann, Moore, Gluck, Van Dongen, & Dinges, 2010). Es por ello que se trata de una función clave en el aprendizaje y afecta a gran parte las acciones que realizamos en nuestra vida cotidiana. Así, existen evidencias que demuestran que la vigilancia está directamente relacionada con el rendimiento en situaciones propias del ámbito académico (Steinmayr, Ziegler, & Träuble, 2010), de la conducción de vehículos (Schmidt et al., 2009) o en profesiones

² Consideramos esta amplia definición como apropiada para el contexto de nuestra serie experimental por su relación con la tarea (PVT) utilizada para medir la vigilancia de los participantes. A lo largo de esta tesis utilizaremos los términos *vigilancia* y *atención sostenida* como sinónimos siendo conscientes del debate todavía existente referente a la terminología y definición de esta función cognitiva.

de alta responsabilidad como la de cirujano (Gawande, Studdert, Orav, Brennan, & Zinner, 2003), piloto de aviación (Wiggins, 2011) o controlador aéreo (Loft, Sanderson, Neal, & Mooij, 2007).

Para medir la vigilancia se han utilizado diversos tipos de tareas. Por un lado, existen las tareas típicas de vigilancia basadas en la presentación de estímulos irrelevantes por periodos de tiempo relativamente largos combinados con la aparición inesperada e infrecuente de estímulos objetivo (Mackworth, 1948). Otro tipo de tareas de vigilancia se encuentran enmarcadas dentro del paradigma SART (del inglés, “*Sustained Attention to response Task*”) que requiere la respuesta continuada a estímulos objetivo, mientras se inhibe la respuesta a la aparición infrecuente de estímulos irrelevantes (Robertson, Manly, Andrade, Baddeley, & Yiend, 1997). Por último, otras tareas que se han utilizado ampliamente para medir la vigilancia son aquellas que requieren la respuesta continuada a todos los estímulos presentados de una forma monótona e impredecible (“*Psychomotor Vigilance Task*”, PVT; Dinges & Powell, 1985).

El tiempo de reacción promedio, la variabilidad en el tiempo de reacción, el porcentaje de errores de omisión (ausencia de respuesta a estímulo objetivo) y comisión (respuesta a estímulo no objetivo), así como el número de lapsos (i.e. respuestas especialmente lentas) son índices que han sido ampliamente utilizados como indicadores de rendimiento en vigilancia. El patrón típico de resultados en las tareas de vigilancia es que el rendimiento suele empeorar con el paso del tiempo. Este hecho es conocido efecto de tiempo en tarea o decremento en vigilancia (See, Howe, Warm, & Dember, 1995, para revisión). Este fenómeno ha sido ampliamente reportado en la literatura y ha sido fundamentalmente atribuido a dos teorías contrapuestas: “la teoría de la dispersión mental o del aburrimiento” (del inglés, “*mind wandering*” o “*boredom*”).

theory”, Pattyn, Neyt, Henderickx, & Soetens, 2008) y la “teoría del agotamiento de los recursos atencionales” (del inglés, “*resource theory*”, Warm, Parasuraman, & Matthews, 2008). Para evaluar la magnitud del decremento en vigilancia los investigadores suelen recurrir a dividir los ensayos en diferentes bloques que se llevan a cabo ininterrumpidamente, bien por tiempo (e.g., bloques de 3 minutos) o bien por número de ensayos (e.g., bloques de 100 ensayos), para evaluar cómo se ven afectados por el curso temporal, los principales indicadores de rendimiento en vigilancia.

El estudio de la vigilancia se ha relacionado especialmente con condiciones de alteración de los ciclos de sueño-descanso y con la ingesta de estimulantes o depresores del SNC (Oken et al., 2006; Sarter, Givens, & Bruno, 2001, para revisiones). Asimismo, factores como el estrés o la novedad también se han relacionado con el rendimiento en vigilancia (Oken et al., 2006, para revisión). De igual manera, diferentes elementos dependientes del tipo de tarea empleada (e.g., la tasa de eventos, la duración de la tarea, la imprevisibilidad temporal o espacial del evento, la discriminabilidad de los estímulos,...) se han relacionado con un incremento en las demandas de atención sostenida, resultando en mayores decrementos en el rendimiento en vigilancia (Sarter et al., 2001, para revisión).

Por otro lado, diversos factores relacionados con las características particulares de los participantes como la motivación hacia la tarea (Bonfond, Doignon-Camus, Hoefl, & Dufour, 2011), su impulsividad (Helton, 2009) así como su nivel de condición (Luque-Casado, Zabala, Morales, Mateo-March, & Sanabria, 2013) también se han relacionado en menor medida, directa o indirectamente con la vigilancia. No obstante, a pesar de los estudios realizados hasta la fecha, todavía están por determinar los mecanismos que subyacen a la posible relación de estos factores con el funcionamiento cognitivo en general y con la vigilancia en particular.

Nuestra serie experimental se basa en concreto en investigar como diferentes características individuales de los participantes asociadas a la práctica regular de ejercicio, como son su grado de condición física cardiovascular y su maestría deportiva, pueden estar relacionadas con la vigilancia en niños, adolescentes y jóvenes adultos.

En el siguiente apartado se hará una revisión profunda de los diferentes estudios que han relacionado la práctica regular de ejercicio con la vigilancia en diferentes grupos poblacionales para dar una visión detallada del estado actual de la literatura en este ámbito de investigación.

2.4.Relación entre el ejercicio físico-deportivo regular y la vigilancia.

A pesar de la relevancia de esta función cognitiva, pocos estudios han investigado directamente la relación entre vigilancia y práctica regular de ejercicio. Además, la aproximación al estudio de dicha relación, de forma similar a como ha sucedido en el estudio de la relación entre ejercicio y el resto de funciones cognitivas, se ha abordado fundamentalmente a través de la exploración del potencial papel mediador de los aspectos cuantitativos de la práctica de EF, más concretamente de la condición física cardiovascular.

2.4.1. Relación entre la condición física y la vigilancia.

Entre los pocos estudios que han investigado directamente la relación entre la práctica de ejercicio físico regular y la vigilancia, podemos destacar que el análisis del rol de la condición física es el que más atención ha recibido por parte de los investigadores. A continuación vamos a proceder a reportar los hallazgos de los

principales estudios que han investigado la relación entre condición física y vigilancia en adultos mayores y jóvenes, para posteriormente revisar los pocos estudios que han investigado de forma indirecta dicha relación en niños.

Al inicio de la década de los 90 apareció el primer estudio (Bunce, Warr, & Cochrane, 1993) que relacionó la edad y la condición física de los participantes (varones de 17-63 años), con indicadores de rendimiento en vigilancia, más concretamente con el tiempo de reacción promedio y los lapsos en una tarea atencional. Los resultados principales de este estudio se pueden resumir principalmente en dos hallazgos: a) no se observó un efecto principal de condición física sobre la vigilancia, y b) se constató una interacción significativa entre la condición física y la edad, únicamente en uno de los indicadores de rendimiento en vigilancia, los lapsos. Esta interacción se manifestó en que los adultos mayores con ACF, aunque no mostraron diferencias en el TR promedio respecto a aquellos con BCF, sí que cometieron un menor número de lapsos. Los autores argumentaron que el hecho de que las diferencias asociadas a la condición física no estuvieran presentes entre los participantes más jóvenes, podía deberse a que el riesgo sanguíneo cerebral en este grupo poblacional no se veía afectado tan sustancialmente por los efectos del envejecimiento como en los adultos mayores, donde la condición física cardiovascular puede prevenir una disminución importante del aporte de oxígeno al cerebro y favorecer diferentes mecanismos neurales. Sin embargo, estos argumentos deben tomarse con cautela, dado su carácter altamente especulativo y, sobre todo, porque los nivel de condición física de los participantes se obtuvieron a través de un índice basado en la combinación de 4 parámetros de estimación indirecta: 2 indicadores de estimación del porcentaje de grasa corporal y 2 indicadores de estimación de la condición física cardiovascular a través de un espirómetro de mano.

Unos pocos años más tarde Bunce, Barrowclough, & Morris (1996) desarrollaron un estudio donde siguieron profundizando en la relación entre edad, condición física y vigilancia. En este caso los participantes fueron empleados de mensajería (mujeres y hombres) de dos rangos de edad diferenciados (18-30 y 43-62 años). Los resultados mostraron de nuevo una ausencia de efecto principal de condición física sobre la vigilancia, y una interacción significativa entre la edad y la condición física de los participantes, en este caso manifestada en el TR promedio y no en el número de lapsos, al contrario de lo que sucedió su estudio anterior (Bunce et al., 1993). Esta interacción entre edad y condición física siguió el mismo patrón de resultados que en el estudio anterior, mostrando los adultos mayores con BCF un promedio de respuestas significativamente más lentas que los adultos mayores con ACF, y este caso también menor sensibilidad de respuesta (A'), un parámetro que indica el porcentaje de detecciones del estímulo respuesta teniendo en cuenta las respuestas incorrectas. Cabe resaltar de nuevo que en este estudio las mediciones de la condición física se realizaron también en base a estimaciones indirectas con los consiguientes problemas que este hecho puede acarrear respecto a la fiabilidad de los resultados.

En otro estudio similar, Bunce (2001) exploró de nuevo la relación entre condición física y rendimiento en vigilancia. En este caso, la muestra estuvo conformada por dos grupos de mujeres de diferentes edades (21-30 y 61-83 años) y para evaluar la vigilancia se sirvió de tareas con distintos grados de discriminabilidad perceptiva basados en la degradación de los estímulos en un 10, 20 o 30% de los píxeles que los definían. Los resultados mostraron un menor decremento en la vigilancia en la condición de mayor dificultad perceptiva en el grupo de adultos mayores ACF respecto a aquellos con BCF. En línea con sus estudios anteriores llevados a cabo con varones (Bunce et al., 1996, 1993), las diferencias asociadas a la condición física entre grupos

no emergieron en las participantes jóvenes, sugiriendo una vez más que la condición física cardiovascular podía beneficiar especialmente el rendimiento en vigilancia en adultos mayores, pero no se encontraba positivamente relacionada con el funcionamiento en vigilancia en adultos jóvenes.

En este punto, es interesante destacar una serie de investigaciones recientes que también se han centrado en analizar la relación entre la vigilancia y la condición física cardiovascular en adultos jóvenes (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado, Perakakis, Ciria, & Sanabria, 2016; Luque-Casado et al., 2013). Luque-Casado et al. (2013) compararon el rendimiento de un grupo de 13 participantes con ACF con un grupo de 13 adultos jóvenes con BCF en diferentes tareas cognitivas (orientación temporal, discriminación de la duración y vigilancia). Los resultados revelaron únicamente diferencias asociadas a la condición física en la tarea de vigilancia (PVT), comprobándose mejor rendimiento en el grupo de mejor condición física en el TR promedio y en el 10% de las respuestas más lentas. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas asociadas a la condición física en el número de lapsos (en este caso definido con respuestas con TR > 500ms) y el 10% de las respuestas más rápidas. Además, los autores no reportaron los resultados referentes a como el decremento en vigilancia (i.e., efecto de tiempo en tarea) afectó a los distintos indicadores de rendimiento en la PVT.

Unos pocos años más tarde, este mismo grupo de investigadores llevaron a cabo dos estudio (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al., 2016), donde se siguió profundizando en el análisis de la relación entre la vigilancia y la condición física en adultos jóvenes. Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al. (2016) compararon el rendimiento en vigilancia empleando una versión extendida

(60 minutos) de la PVT en 42 participantes diferenciados en dos grupos en función de su capacidad física aeróbica (ACF *vs.* BCF).

En este estudio se registraron medidas comportamentales (TRs y lapsos) y electrofisiológicas, en concreto dos potenciales corticales -P3 y CNV- que han mostrado estar relacionados tanto con el ejercicio físico como con el rendimiento atencional (Chaddock et al., 2012). De hecho, se ha sugerido que el potencial P3 refleja la cantidad de recursos atencionales dirigidos hacia la información relevante de una tarea y ha sido relacionado con la atención sostenida, mostrando una relación inversa entre su amplitud y el rendimiento en función del transcurso del tiempo en tarea (Koelega, Verbaten, Van Leeuwen, Kenemans, Kemner, & Sjouw, 1992). Además, diversos estudios han mostrado una relación positiva entre el nivel de condición física y la magnitud del potencial CNV, relacionándolo con el rendimiento en procesos de velocidad de procesamiento (Arito & Oguri, 1990; Kamijo & Takeda, 2010).

Los resultados obtenidos por Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al. (2016) mostraron TR más rápidos en los participantes del grupo con ACF, pero únicamente durante los primeros 36 minutos de la tarea. Este mejor rendimiento comportamental manifestado en los TRs fue acompañado por una menor amplitud del potencial P3 a lo largo de la tarea y por una mayor amplitud en el potencial CNV, en comparación con los participantes BCF, quienes incluso mostraron una reducción en la amplitud del CNV a lo largo del tiempo en tarea. Los autores vincularon estos hallazgos al nivel de condición física cardiovascular, sugiriendo que los participantes con mejor condición física mostraban una mejor preparación de respuesta a nivel neural (indexada por la CNV) y una mejor capacidad general para asignar sus recursos atencionales a lo largo del tiempo en tarea (relacionada con el potencial P3).

En otro estudio muy similar al anterior en cuanto al diseño, Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al. (2016) volvieron a comparar el rendimiento en la PVT de dos grupos de adultos jóvenes con distintos niveles de condición física (BCF vs. ACF), en este caso apoyando el registro de datos comportamentales con el registro de la variabilidad de la frecuencia cardiaca (VFC), concretamente el reflejo de orientación cardiaca. El reflejo de orientación es una respuesta evocada por estímulos novedosos o significativos. Ésta respuesta consiste en una amplia variedad de cambios fisiológicos que actúan facilitando un mejor procesamiento perceptual y recopilación de información, y por tanto es considerada como un índice relevante de foco atencional (Bradley, 2009). A nivel comportamental, los resultados del estudio de Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al. (2016) mostraron TR promedio más rápidos en los participantes ACF en los primeros 24 minutos de la PVT, que fue acompañado por un mayor reflejo de orientación respecto a los participantes con menor condición física durante el mismo período de la tarea. En su conjunto, los resultados de los estudios llevados a cabo por Luque-Casado y colaboradores (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al., 2016; Luque-Casado et al., 2013) sugieren una asociación positiva entre el nivel de condición física de jóvenes adultos y la vigilancia, revelando resultados contrapuestos a los reportados por investigadores que estudiaron esta relación anteriormente en el mismo grupo poblacional (Bunce, 2001; Bunce et al., 1996, 1993).

Cabe resaltar, que en los resultados obtenidos por el grupo de Luque-Casado y colaboradores, la relación positiva entre vigilancia y condición física se observó tanto a nivel comportamental como neurofisiológico (HRV) en tareas de corta duración (<10 minutos, Luque-Casado et al., 2013), pero no en la segunda parte de tareas de larga duración (60 minutos, Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado,

Perakakis, Ciria, et al., 2016). Además, estas diferencias entre grupos con distintos niveles de condición física se manifestaron a nivel comportamental en el TR promedio, pero no lo hicieron en el número de lapsos o en el efecto de tiempo en tarea. Es reseñable también, que en ningún de estos estudios se llevaron a cabo ningún tipo de análisis (e.g. análisis de correlación o regresión) para relacionar los principales indicadores de rendimiento en la tarea de vigilancia con los principales indicadores de condición física cardiovascular de los participantes.

Por otra parte, algunos estudios han explorado de forma indirecta la relación entre vigilancia y condición física en niños. Por ejemplo, Pontifex et al. (2012) compararon el rendimiento en función del tiempo en tarea en dos grupos de preadolescentes (9-10 años) con distinto nivel de condición física (ACF vs. BCF) a través de una tarea ampliamente utilizada para medir el control ejecutivo como es la tarea de flancos (Eriksen & Eriksen, 1974). Los resultados revelaron un mayor número de errores de omisión y de omisiones secuenciales en los participantes con BCF. Los autores interpretaron estos hallazgos como indicadores de una capacidad ineficiente de distribuir y reponer los recursos atencionales para mantener la atención a lo largo del tiempo. De ello se deriva que concluyeran que bajos niveles de condición física cardiovascular se relacionaban con un peor rendimiento en vigilancia, aunque algunos indicadores del rendimiento atencional no se vieron afectados por la condición física (e.g., errores de comisión o TR promedio). Estos autores tampoco encontraron diferencias entre grupos al analizar el decremento en vigilancia, es decir, los indicadores de precisión (errores de comisión y omisión) y velocidad de respuesta (TR), no empeoraron con el paso del tiempo, por lo que los autores decidieron colapsar ambos bloques para el análisis estadístico. Aunque el decremento en vigilancia debe ser un resultado importante en un estudio que pretenda evaluar la vigilancia de los

participantes, el único dato que reportaron los autores es que la diferencia entre los 100 ensayos del primer bloque y los 100 del segundo no fue significativa, aunque es muy importante reseñar que esta diferencia estuvo muy cerca de alcanzar la significatividad ($p = .07$) y sorprendentemente apuntó en la dirección de un mayor rendimiento en el segundo bloque. Este hecho podría ser muy relevante ya que de confirmarse, no muestra el típico decremento en vigilancia con el paso de tiempo, sino totalmente lo contrario. De hecho, estos resultados podrían indicar que esta tarea tiene un potencial muy limitado para evaluar el decremento en vigilancia ya que la dificultad que entraña para los participantes niños, les lleva a manifestar un mejor rendimiento en el segundo bloque que en el primero debido a los potenciales efectos de aprendizaje de la tarea.

En un estudio con un diseño similar, Chaddock et al. (2012) se sirvieron de técnicas de fMRI para evaluar la actividad cerebral de dos grupos de niños con diferentes niveles de condición física (ACF vs. BCF) mientras realizaban la tarea de flancos de Eriksen. Los resultados revelaron que, en los ensayos congruentes se observaban los mismos patrones de activación de áreas cerebrales en ambos grupos, con todos los niños mostrando una mayor activación en las áreas frontales y parietales al inicio de la tarea, que fue disminuyendo con el tiempo en tarea.

A nivel comportamental tampoco hubo diferencias en la precisión en los ensayos congruentes con el curso temporal de la tarea. En cambio, en los ensayos incongruentes, solo los participantes con ACF fueron capaces de mantener la precisión a lo largo del tiempo, mostrando el mismo patrón de activación cerebral que en los ensayos incongruentes. En cambio, los niños con BCF mostraron el típico decremento de vigilancia con el tiempo en tarea en errores de omisión, unido a una ausencia de diferencias en la activación cerebral con el tiempo en tarea. Los autores interpretaron estos resultados como indicadores de que los participantes con ACF mostraron mejores

patrones de activación y adaptación neural para mantener la atención a lo largo del tiempo en una tarea de control ejecutivo.

Para finalizar con la revisión de la literatura investigando la relación entre la condición física y la vigilancia es importante destacar también un estudio que evaluó los efectos de un programa de intervención de 8 meses basado en actividades aeróbicas rítmicas y danzas sobre el índice de masa corporal (IMC), el nivel de condición física y la vigilancia en una muestra de 29 adultos mayores obesos (Monleon, Ballester, Sanchis, Llorens, Martin, & Pablos, 2015). Los resultados mostraron que tras la intervención, los participantes mejoraron su IMC y su nivel de condición física. Esta mejora en la condición física de los participantes vino acompañada de una mejora en el rendimiento en la PVT reflejada en una reducción en el TR promedio y en el número de lapsos ($RT > 500ms$). No obstante, al intentar relacionar las ganancias cardiovasculares con las ganancias cognitivas mostradas en la tarea de vigilancia, los resultados desvelaron una ausencia de correlación significativa entre ambas variables. Los autores justificaron este resultado argumentando que las mejoras en términos de vigilancia que habían experimentado los participantes podían deberse a otros factores como el entrenamiento coordinativo-motor a través de las actividades rítmicas, relacionando estos hallazgos con los de otro estudio, en los que se habían observado efectos positivos sobre la flexibilidad cognitiva de programas de intervención basados en danzas contemporáneas en adultos mayores (Coubard, Duretz, Lefebvre, Lapalus, & Ferrufino, 2011).

En su conjunto (ver Tabla 2), la evidencia existente hasta el momento apunta hacia los beneficios selectivos que parece aportar el nivel de condición cardiovascular sobre algunos indicadores de rendimiento cognitivo en general, y la vigilancia o atención sostenida en particular.

Tabla 2. Estudios investigando la relación entre condición física y vigilancia

<i>Estudio</i>	<i>Tipo de tarea atencional utilizada</i>	<i>Edad participantes</i>	<i>Principales hallazgos</i>
<i>Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al. (2016)</i>	Vigilancia	21-24	<i>Mejor rendimiento en TR en participante ACF respecto a BCF, durante primeros 36' de la PVT.</i>
<i>Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al. (2016)</i>	Vigilancia	21-24	<i>Promedio de TR más rápidos en participantes ACF únicamente en los primeros 24' de la PVT.</i>
<i>Monleón et al. (2015)</i>	Vigilancia	35-60	<i>Programa de intervención basado en actividades rítmicas y danzas favorece vigilancia adultos obesos. Las ganancias en la condición física de los participantes no están correlacionadas con las ganancias en la vigilancia.</i>
<i>Luque-Casado et al. (2013)</i>	Vigilancia	17-23	<i>Diferencias únicamente en TR promedio de participantes con ACF comparados con BCF</i>
<i>Pontifex et al. (2012)</i>	Control Ejecutivo	9-10	<i>Mayor decremento en vigilancia reflejado en un incremento en los errores de omisión y número de omisiones secuenciales en función del tiempo en tarea en participantes preadolescentes con BCF en relación al grupo ACF</i>
<i>Bunce (2001)</i>	Búsqueda Visual	21-30 y 61-83	<i>Menor decremento en vigilancia en la condición de mayor dificultad perceptiva en el grupo de adultos mayores con ACF. Sin diferencias asociadas a la condición física en jóvenes adultos</i>
<i>Bunce et al. (1996)</i>	Control Ejecutivo	18-30 y 43-62	<i>No existió un efecto principal de condición física sobre la vigilancia. La interacción entre edad y condición física fue significativa para el promedio de TR y para la sensibilidad de respuesta A'</i>
<i>Bunce et al. (1993)</i>	Control Ejecutivo	17-63	<i>Ausencia efecto principal de condición física sobre la vigilancia en adultos jóvenes. Adultos mayores ACF menor porcentaje de lapsos que los BCF</i>

Sin embargo, la investigación es aún escasa y, en ocasiones, aparentemente contradictoria. Así pues desde nuestro punto de vista existen diversas cuestiones importantes por esclarecer siendo necesario realizar nuevos estudios que permitan aportar nuevas evidencias para comprobar si las ganancias derivadas de la práctica regular de ejercicio son únicamente atribuibles a la condición física cardiovascular. En este sentido es muy importante reseñar el papel de un factor al que cada vez se le está dando más relevancia en los estudios que abordan la relación entre ejercicio y cognición (Pesce, 2012; Pesca & Ben Soussan, 2016, para revisiones) pero que ha sido obviado en el estudio de la relación entre ejercicio y vigilancia, como es la relación entre los aspectos cualitativos de diferentes tipos de ejercicio.

2.4.2. Relación entre los aspectos cualitativos del ejercicio y la vigilancia.

La única aproximación indirecta relativa al estudio de la relación entre las características cualitativas del ejercicio físico y la vigilancia, lo encontramos en un estudio de Lum, Enns, & Pratt (2002) que se interesó en conocer los efectos de diferentes tipos de maestría deportiva sobre la orientación visual de deportistas universitarios. Para cumplir tal propósito, se comparó el rendimiento atencional participantes de ambos géneros diferenciados en tres grupos: atletas procedentes de deportes con un entorno considerado estable (natación, atletismo), deportistas procedentes de deportes con un entorno variable (fútbol, voleibol) y un grupo control de no-deportistas. La tarea empleada permitía analizar el funcionamiento de la alerta, la orientación automática, la orientación voluntaria, la modulación de la orientación automática, la inhibición de retorno y la vigilancia. Sus resultados revelaron una ausencia de diferencias entre grupos en la orientación automática aunque, por el contrario, sí que reportaron diferencias asociadas a la práctica deportiva en la

orientación voluntaria y en la modulación de la orientación automática. Además, los resultados de vigilancia revelaron que los atletas de ambos tipos de deportes mostraron TR más rápidos que el grupo de no-deportistas. Aunque inicialmente los autores hipotetizaron que los deportistas serían más resistentes al decremento en vigilancia, sus resultados revelaron un hallazgo inesperado para ellos, dado que todos los grupos fueron más rápidos a medida que avanzaba la sesión experimental. Este resultado fue justificado argumentando simplemente que todos los participantes mostraron excelentes niveles de vigilancia. Este hallazgo inusual respecto al decremento en vigilancia puede estar estrechamente relacionado con el diseño experimental, y más concretamente, con la tarea atencional que utilizaron y la forma que los autores analizaron los datos relativos al efecto tiempo en tarea.

Es reseñable que aunque uno de los objetivos del estudio fue evaluar la relación entre la vigilancia y diferentes tipos de práctica deportiva, los autores no utilizaron una tarea específicamente diseñada para evaluar la vigilancia como puedan ser tareas ampliamente utilizadas para tal fin como la PVT, CPT (del inglés “*Continuous Performance Task*”) o SART. En cambio, los autores se sirvieron de una tarea diseñada fundamentalmente para medir la orientación visual y el efecto de inhibición de retorno, con un nivel de dificultad mayor que las tareas típicas de vigilancia, y por consiguiente mucho más susceptible de mostrar efectos de aprendizaje. Así pues, los TR más rápidos observados en las respuestas correctas de los últimos bloques de la tarea pueden deberse a que, en el inicio, los participantes se encontraran todavía en el proceso de asimilación de la tarea y por tanto utilizando un criterio de respuesta más conservador para asegurar los aciertos o simplemente siendo menos eficientes en sus respuestas que al final de la tarea. Además, la tarea consistía en 10 bloques diferentes de 100 ensayos cada uno, con un breve tiempo de descanso entre bloques, del cual no se especificaba la duración. Este

tiempo servía para que los participantes descansaran y pudieran reponer total o parcialmente sus recursos atencionales. No obstante, este hecho no se tuvo en cuenta en los análisis del decremento en vigilancia, ya que los autores compararon la media del TR de cada bloque sin tener en cuenta el efecto tiempo en tarea dentro de cada bloque, un indicador muy interesante de fatiga mental o de la capacidad para mantener la atención durante un periodo ininterrumpido de tiempo realizando una tarea.

De esta forma, podemos concluir que gran parte de la literatura que ha estudiado la relación entre ejercicio físico regular y vigilancia se ha centrado en el estudio del rol mediador de la condición física, mientras que apenas un único trabajo (Lum et al., 2002) ha explorado en el rol mediador de distintos tipos de práctica deportiva. No obstante, es interesante destacar que ninguna aproximación empírica ha tenido en cuenta en el mismo estudio el efecto de ambos mediadores de la relación entre ejercicio y vigilancia. Dicho de otro modo, los estudios que han abordado el estudio de la relación entre la condición física y la vigilancia, o bien ni siquiera han tenido en cuenta la experiencia deportiva previa o la práctica deportiva actual de los participantes, o en el mejor de los casos reclutaban a los participantes teniendo en cuenta el deporte que practicaban mayoritariamente en la actualidad, sin preguntarse si practicaban habitualmente otro deporte o si lo habían hecho durante un periodo largo de tiempo. Respecto al único estudio que investigó el rol mediador de diferentes tipos de maestría deportiva en la relación entre ejercicio y vigilancia, este no tuvo en cuenta de forma directa o indirecta la condición física de los participantes. Es por ello que, aunque la condición física y la práctica deportiva sean factores que pueden estar altamente relacionados (i.e., altos niveles de práctica deportiva suelen conllevar altos niveles de condición física) la posible interacción de estas dos variables sobre el rendimiento en tareas de vigilancia no se han investigado en profundidad.

Por otro lado, a pesar del creciente número de estudios en adultos mayores, la relación existente entre la práctica regular de ejercicio y la vigilancia en niños, y especialmente en adolescentes, es totalmente desconocida. Este hecho no es trivial, ya que la preadolescencia y la adolescencia temprana son un periodo crítico para desarrollar habilidades motoras y cognitivas debido a la plasticidad cerebral que se experimenta durante estas etapas. Además, la gran mayoría de estudios que han investigado la asociación entre ejercicio y vigilancia lo han hecho de forma indirecta, ya que no fueron diseñados de manera específica para investigar tal propósito, limitando por consiguiente la posible interpretación de estos hallazgos.

Así pues, consideramos que la utilización de un diseño experimental que permita el estudio de esta relación de forma directa mediante el uso de tareas específicamente diseñadas para evaluar la vigilancia, y que tenga en cuenta diferentes variables que pueden afectar potencialmente a esta relación contribuiría notablemente a un mejor entendimiento de la relación entre ejercicio y vigilancia.

CAPÍTULO III

PLANTEAMIENTO DE LA

INVESTIGACIÓN Y OBJETIVOS

3.1.Planteamiento de la Investigación y Objetivos.

Como se ha constatado en el apartado anterior, la literatura que ha abordado el estudio de la relación existente entre ejercicio y cognición, se puede agrupar fundamentalmente en dos vertientes claramente diferenciadas. Por una parte, los estudios que han investigado el rol modulador de los aspectos cuantitativos del ejercicio (volumen, intensidad, frecuencia,...), que se han centrado especialmente en el papel que juega el nivel de condición física cardiovascular sobre el funcionamiento cognitivo. Esta primera vertiente es la que tradicionalmente ha recibido mayor atención por parte de los investigadores. Sin embargo, en los últimos años se han publicado diversos estudios (Pesce, 2012, para revisión), que han analizado el papel desempeñado por las características cualitativas del ejercicio físico en el funcionamiento cognitivo, especialmente el nivel de demanda perceptivo-cognitiva asociado a diferentes tipos de modalidades deportivas.

La funciones cognitivas que han sido más estudiadas en cuanto a su relación con la práctica regular de ejercicio físico han sido las vinculadas al control ejecutivo (Best, 2010; Guiney & Machado, 2013, para revisiones). Sin embargo, nuestra revisión de la literatura nos ha permitido comprobar que apenas existen estudios que hayan abordado la relación existente entre la práctica regular de ejercicio y la vigilancia, a pesar de ser esta, una función cognitiva indispensable para el funcionamiento cognitivo general y clave en diferentes actividades de la vida cotidiana, así como del ámbito laboral y deportivo. Además, la mayoría de las escasas aproximaciones empíricas que han investigado directa o indirectamente la relación ejercicio regular-vigilancia, se han centrado fundamentalmente en el rol mediador del nivel de condición física cardiovascular en esta relación, obviando otras potenciales variables asociadas a la

práctica de actividad físico-deportiva como son las demandas perceptivo-cognitivas de la modalidad deportiva practicada.

Por otra parte, es digno de mención el hecho de que la mayoría de los estudios que han investigado la relación entre la práctica regular de ejercicio y la vigilancia se hayan llevado a cabo con población adulta, existiendo muy pocos trabajos que hayan abordado dicho análisis durante fases más tempranas del desarrollo. Desde nuestro punto de vista, consideramos muy necesario ampliar el estudio de la relación entre la práctica de regular de EF y la vigilancia también a la niñez y la adolescencia, ya que se trata de períodos especialmente sensibles para reforzar y mejorar las conexiones neurales, debido a la gran plasticidad cerebral que se experimenta (Myer et al., 2015), así como dada su importancia para la consolidación de patrones motores y hábitos deportivos que se mantengan a lo largo de la vida (Hallal et al., 2006, para revisión).

Por todo lo expuesto anteriormente, el objetivo general que se estableció en la presente tesis doctoral fue investigar la relación entre la práctica regular de ejercicio físico-deportivo y la vigilancia desde la niñez a la adultez temprana. Para cumplir tal propósito, se planteó una serie experimental que nos permitiría profundizar en el conocimiento de algunos de los factores que pueden modular esta relación, facilitándonos la consecución de los siguientes objetivos específicos:

3.1.1. Objetivos del Estudio 1. Efecto de la práctica deportiva regular durante la niñez y la adolescencia temprana sobre la vigilancia.

En este primer estudio se plantearon tres objetivos específicos:

1. Estudiar la relación entre la práctica regular de un deporte (fútbol) durante la niñez y la adolescencia temprana y el rendimiento en una tarea de vigilancia.

2. Investigar si el nivel de condición física cardiovascular de los participantes puede modular la relación entre la práctica deportiva regular y la vigilancia.
3. Explorar la influencia de otras posibles variables moduladoras de la relación entre vigilancia y funcionamiento cognitivo como el género, la activación y la motivación respecto a la realización de la tarea atencional.

3.1.2. Objetivos del Estudio 2. Variables moduladoras de la relación entre la práctica deportiva regular y la vigilancia durante la niñez.

En base a los hallazgos obtenidos en el estudio anterior nos planteamos profundizar en el conocimiento de los factores moduladores de la relación entre la práctica deportiva regular y la vigilancia. Para abordar el citado objetivo general ello se diseñó un nuevo estudio en el que se definieron los siguientes objetivos específicos:

4. Comprobar si las diferencias en el rendimiento en la vigilancia asociadas a la práctica deportiva se manifestarían durante otras etapas del desarrollo evolutivo (última etapa de la niñez).
5. Investigar si las potenciales diferencias en el rendimiento en vigilancia asociadas a la práctica deportiva se verían influenciadas, no solo por la condición física cardiovascular de los participantes, sino por la naturaleza (nivel de demanda perceptivo-cognitiva) de la modalidad deportiva practicada.
6. Determinar si la relación entre la práctica deportiva y la vigilancia podría estar influenciada por las demandas de velocidad de respuesta de la tarea atencional.

3.1.3. Objetivos del Estudio 3. Variables moduladoras de la relación entre la práctica deportiva regular y la vigilancia en adultos jóvenes.

En el último estudio de nuestra serie experimental, en base a los datos obtenidos en los estudios anteriores, tratamos de dar un paso más en el conocimiento del papel mediador y/o moderador de nuevas variables no consideradas anteriormente en nuestra serie experimental, que podrían influir en la relación entre ejercicio y vigilancia. Así pues, nos planteamos los siguientes objetivos específicos:

7. Analizar si la relación entre la práctica deportiva y la vigilancia se mantendría en etapas posteriores del desarrollo evolutivo (jóvenes adultos).
8. Conocer si los efectos de la práctica deportiva sobre la vigilancia podrían estar modulados por el nivel de demanda perceptiva-cognitiva de la tarea cognitiva planteada.
9. Explorar el posible rol modulador de la coordinación óculo-manual de los participantes en la relación entre la práctica regular y la vigilancia.

CHAPTER IV

EXPERIMENTAL SERIES

4.1.Experiment 1

Relationship between vigilance and regular sport participation during childhood and early adolescence

This experiment has been published as:

Ballester, R., Huertas, F., Yuste, F. J., Llorens, F., & Sanabria, D. (2015). The relationship between regular sports participation and vigilance in male and female adolescents. *PLoS One*, *10*(4),e0123898.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0123898>

4.1.1. Introduction.

Extensive research has reported the psychological and social benefits of regular sports participation during adolescence (Eime, Young, Harvey, Charity, & Payne, 2013a). However, few studies have investigated the relationship between cognitive processing and regular sport participation. In the present study we focus on football since it is probably the most popular sport in the world.

Football regular participation has been related to improved perceptual-motor skills. Studies have shown that young adult football players outperformed non-athletes and/or less skilled football players in different measures of attentional orienting and executive functioning (Pesce, Tessitore, Casella, Pirritano, & Capranica, 2007; Verburgh, Scherder, Lange, & Oosterlaan, 2014; Vestberg, Gustafson, Maurex, Ingvar, & Petrovic, 2012). Researchers have also shown a positive relationship between football participation and performance in specific tests of visual function (Ward & Williams, 2003), and general tests of perceptual and motor performance during adolescence (Vänttinen, Blomqvist, Luhtanen, & Häkkinen, 2010). However, to the best of our knowledge, no study has examined the relationship between regular football participation and vigilance performance in adolescents.

In the present study we also aimed to explore the relationship between cardiovascular fitness and vigilance performance. To the best of our knowledge, there are no studies which have investigated these factors directly in adolescents, with some scarce evidence in children (Pontifex et al., 2012) and young adults (Luque-Casado et al., 2013). For instance, Pontifex et al. (2012) showed less errors of omission in a flanker (conflict) task in high fit 9–10 year old children than in low-fit children, a result that was taken as evidence of superior sustained capacities in the highly fit group, even though the flanker task was not (at least initially) designed to measure sustained

attention or vigilance. Meanwhile, previous studies, showed either no direct relationship between cardiovascular fitness and vigilance performance in young adults (Bunce, 2001; Bunce et al., 1996, 1993) or better performance in the Psychomotor Vigilance Task (PVT), manifested in overall faster reaction times (RT) for in high-fit young adults when compared to their low-fit counterparts (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al., 2016; Luque-Casado et al., 2013).

Together with cardiovascular fitness, we also investigated the potential influence of variables that have been previously related to vigilance performance, such as gender (Venker et al., 2007), controlling for potential confounding factors that may influence the exercise-cognition relationship such as sleep (Basner & Dinges, 2011), perceived activation/arousal (Matthews & Davies, 1998) and motivation toward the task (Bonfond et al., 2011; Hüttermann & Memmert, 2015).

In sum, the main aim of the present study was to investigate the relationship between regular sport participation (football) and vigilance. On the basis of previous research with different cognitive functions, we expected football players, both male and females, to outperform non-athletes in vigilance performance. We also expected, in line with previous studies with different population, a positive relationship between cardiovascular fitness and vigilance performance. According to the scarce previous research on the role of gender in vigilance performance, we did not expect differences between males and female adolescents.

4.1.2. Methods.

4.1.2.1. Participants.

Seventy-five adolescents³ (see Table 3) were recruited to participate in this study. Thirty-nine adolescent (15 females) football players from a Spanish League junior team were selected to be part of the athletes group. Participants of this group attended specific training sessions three times per week and a competition match on weekends (5 hours per week of systematic football practice). Moreover, all of them reported more than five years of systematic and deliberate football practice. Thirty-six students (18 females) from a local public school were selected to be part of the non-athletes group. The participants in the non-athletes group met the inclusion criteria of not reporting sport experience or systematic sport practice out of school (less than 2 hours per week of sport participation out of school). None of the participants had an individual education plan or accommodations to receive direct or indirect special education services (e.g., attention deficit disorder; cognitive or physical disability).

4.1.2.2. Apparatus, materials and procedure.

Participants were evaluated on two separate occasions with a minimum interval of 2 days and a maximum interval of 7 days, at the same time of the day. On the *Vigilance session*, participants were fitted with a Polar RS800CX HR monitor (Polar Electro Ltd., Kempele, Finland). Subsequently, they rested for five minutes in a seated position to record the resting heart rate (HR). Then, they rated on a 0-100 visual analogue scale (a modified version of a scale developed by Monk (1989) their

³ An a priori power analysis was conducted to determine the minimum sample size required for a power level of .80. This analysis was based on data from a previous study by Luque-Casado et al. (2013) who compared performance in the PVT of a group of young cyclists and triathletes (high-fit) to that of a group of non-athletes (low-fit) young adults. This analysis gave an outcome of 22 participants per group.

subjective activation and their motivation toward the task. Subsequently, all participants completed the PVT (see details below) using the same laptop model, an HP Pavilion g series (15.6-inch color screen), running the E-Prime software (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA, USA) that controlled the presentation of stimuli, timing operation, and collection of responses. Participants performed the PVT sitting on a chair at 60 cm from the computer monitor. The resting HR recording and the PVT were completed in a dimly illuminated and noise-reduced room. After the PVT was finished, participants rated the perception of cognitive workload of the PVT in the 0-100 visual analogue scale.

In the *Fitness Assessment Session*, a brief anthropometric study was performed on each participant to calculate the body mass index (BMI; i.e., weight divided by the square of the height). Participants were again fitted with the HR monitor. Then, in groups of eight participants, the *Léger Multi-stage fitness test* (Léger & Lambert, 1982) was performed (see details below). This test or its adaptations is one of the most common assessment procedures used for measuring cardiorespiratory fitness in studies involving young participants (Tomkinson, Léger, Olds, & Cazorla, 2003).

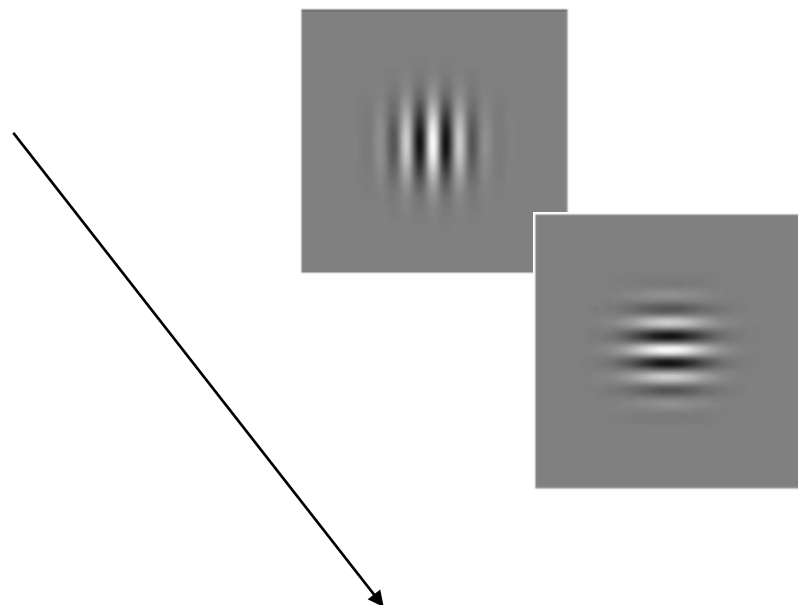
The *Psychomotor Vigilance task* and *Fitness assessment* sessions were completed in counterbalanced order. At the end of the last session, participants were debriefed on the purposes of the study and given an explanation of their cardiovascular fitness with easily understandable data.

Psychomotor Vigilance Task.

Vigilance was measured by means of the PVT (Wilkinson & Houghton, 1982). The PVT requires participants to respond, as rapidly as possible, to a visual stimulus that appears on the screen. The PVT is a simple and reliable task to measure vigilance

given the monotonous, repetitive, and unpredictable nature of the target onset (Drummond et al., 2005). This task can range from as short as 8 minutes for attentional stores to be depleted sufficiently to observe failures in vigilance (Loh, Lamond, Dorrian, Roach, & Dawson, 2004), and even less (5 minutes) in children (Wilson, Dollman, Lushington, & Olds, 2010).

During the task, on each trial appeared a Gabor patch ($4.20^\circ \times 4.20^\circ$) with a horizontal orientation at the center of the screen in a grey background. Later, at a random time interval (between 2000 and 10000 ms), the lines abruptly changed their orientation to vertical (see Figure 4). The participants were instructed to respond to this change as fast as possible by pressing the space bar on the laptop keyboard with the index finger of their dominant hand. Feedback of the response time was displayed on the screen after each trial during 300 ms interval before the next trial began. If a response had not been made within 5000 ms, the message “You did not answer” appeared on the screen and the next trial began. The task lasted for 9 minutes without interruptions.



Léger Multi-stage fitness test.

This test was originally designed to determine the maximal aerobic power of schoolchildren and healthy adults (Léger & Lambert, 1982). Participants run back and forth on a 20-m course and had to reach the 20-m line at an initial speed of 8.5 km/h which increased progressively (0.5 km/h every minute) in accordance with a pace dictated by a prerecorded tape. Several shuttle runs of 20m made up each stage, with each stage lasting for one minute. As the test proceeded, the number of shuttle runs increased in each stage and the participants were instructed to keep the pace with the acoustic signal for as long as possible. The test finished when the participants acknowledged voluntary exhaustion or were not able to follow the pace during two consecutive acoustic signals. The maximal HR (HR_{max}) of each participant was annotated right after the end of the test. The last on-time lap completed was used to define the Time to Exhaustion (TTE) that was used as our main index of the cardiovascular fitness level of our participants. Additional indices of cardiovascular fitness based on participants' HR were also measured. After completing the physical test, participants stayed in the upright seated position (inactive recovery, Hainsworth, 1998) during five minutes to calculate the HR Recovery index (HRR), measured as the percentage of reduction of the HR with regard to the HR_{max} following 60 seconds of recovery (HRR_{60}), following 180 seconds of recovery (HRR_{180}) and following 300 seconds of recovery (HRR_{300}). Post-exercise HRR has been reported to be an important index of exercise endurance capacity and individual cardiovascular fitness (Singh, Rhodes, & Gauvreau, 2008). HR was continuously monitored throughout the session using a sampling rate of 1 Hz.

4.1.2.3. Design and Statistical analysis.

Analyses of variance (ANOVAs) with the between participants factors of gender (male, female) and sport participation (athletes vs. non-athletes) were used to analyze the physiological and behavioral data. Participants' mean reaction time (RT) and lapses (number of trials with RT above 500 ms; cf. Drummond et al., 2005) were introduced in ANOVAs with the between participants factors of gender (male, female) and sport participation (athletes vs. non-athletes) and the within participants factor of time on task (block 1, 2 and 3). Note that data from the 9 minutes of the PVT were divided in three blocks of 3 minutes each to investigate the temporal course of participants' RTs and lapses in order to explore the so-called vigilance decrement throughout the task. For the PVT analysis, trials with RTs below 100 ms (1.0%) were considered anticipations (Basner & Dinges, 2011) and therefore discarded from the analysis. In the analysis of the PVT data, the Greenhouse–Geisser correction was applied when sphericity was violated (Jennings & Wood, 1976), and corrected probability values are reported. Tukey HSD post-hoc tests were used to analyze further significant main effects (with more than two experimental conditions) and interactions.

In order to investigate the relationship between vigilance performance and cardiovascular fitness we performed Pearson correlations between data from the PVT (overall mean RT and number of lapses) and TTE, our main index of fitness, within each group of participants (39 athletes and 36 non-athletes). Similar correlation analyses were performed between data from the PVT and scores in the scales of motivation toward the task, perceived arousal prior the task and perception of the PVT cognitive workload.

4.1.3. Results.

4.1.3.1. Physiological measures

The ANOVA with participants' TTE in the *Léger Multi-stage fitness test* revealed main effects of sport participation, $F(1,71) = 144.88, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .67$ and gender, $F(1,71) = 27.65, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .28$. Athletes outperformed non-athletes and boys showed greater TTE values than girls (see Table 3). The interaction between sport participation and gender was not significant, $F(1,71) = 2.56, p = .11$.

Table 3. Mean (SD) of participants' demographic, fitness, PVT results and scores in the visual analogue scales.

<i>Demographic and anthropometrical characteristics</i>				
Group	<i>Non-athletes (n = 36)</i>		<i>Athletes (n = 39)</i>	
	<i>Male (n=18)</i>	<i>Female (n=18)</i>	<i>Male (n=24)</i>	<i>Female (n=15)</i>
Gender				
Age (years)	13.9 (0.6)	13.7 (0.6)	13.4 (0.3)	13.9 (0.6)
Body Mass Index (kg/m ²)	19.1 (2.7)	21.7 (3.2)	20.3 (1.7)	20.5 (2.0)
<i>Cardiovascular fitness measures</i>				
Resting HR (bpm)	79 (9) [*]	80 (10)	67 (8)	64 (6)
Maximal HR (bpm)	203 (7)	201 (8)	203 (6)	201 (4)
Time to Exhaustion (sec)	353 (59) ^{*†}	228 (82)	544 (94)	477 (65)
HRR ₆₀ index (%)	19.8(5.8) ^{*†}	16.9 (6.9)	35.6 (9.8)	17.9 (6.3)
HRR ₁₈₀ index (%)	32.7 (5.9) ^{*†}	30.6 (8.5)	43.4 (4.5)	36.9 (4.3)
HRR ₃₀₀ index (%)	36.2 (4.2) ^{*†}	32.3 (6.9)	47.4 (4.8)	40.5 (3.6)
<i>Psychomotor Vigilance Task</i>				
Mean RT (ms)	355 (72) [*]	369 (73)	309 (53)	302 (26)
Lapses (number)	5.9 (5.7) [*]	6.1 (5.4)	2.0 (1.9)	2.5 (1.7)
<i>Visual analogue scales</i>				
Activation prior to the task	67(30) [*]	61 (31)	73 (28)	82 (23)
Motivation toward the task	73 (23) [*]	73 (25)	79 (16)	88 (12)
PVT cognitive workload	27 (22)	38(28)	37 (28)	48 (27)

* Indicates significant differences between groups ($p < .05$). † Indicates gender-significant differences ($p < .05$).

The two groups were not different in BMI, $F < 1$, $p = .98$. In contrast, the analyses revealed that athletes had lower resting HR than non-athletes, HR_{rest} , $F(1,71) = 52.23$, $p < .001$, $\eta^2_{partial} = .42$. Importantly, the non-significant difference between groups in HR_{max} , $F < 1$, $p = .78$, suggests that participants in both groups gave a maximal effort in the physical test.

Athletes recovered their heart rate faster than non-athletes throughout all after exercise resting times: %HRR₆₀, $F(1,71) = 21.97$, $p < .001$, $\eta^2_{partial} = .24$, %HRR₁₈₀, $F(1,71) = 36.25$, $p < .001$, $\eta^2_{partial} = .34$, %HRR₃₀₀, $F(1,71) = 67.31$, $p < .001$, $\eta^2_{partial} = .49$.

Regarding gender, the analyses revealed differences between males and females in %HRR₆₀, $F(1,71) = 33.40$, $p < .001$, $\eta^2_{partial} = .32$, %HRR₁₈₀, $F(1,71) = 9.26$, $p = .003$, $\eta^2_{partial} = .34$, and %HRR₃₀₀, $F(1,71) = 20.76$, $p < .001$, $\eta^2_{partial} = .23$, with lower values for females than for males (see Table 1). No differences were found in HR_{rest} and HR_{max} (both $F_s < 1$). The interaction between sport participation and gender was significant for %HRR₆₀, $F(1,71) = 17.13$, $p < .001$, $\eta^2_{partial} = .19$. Tukey HSD post-hoc tests showed that male athletes showed better %HRR₆₀ than male non-football players, $p < .001$, without differences in %HRR₆₀ between females, $p = .98$. The interaction between sport participation group and gender was not statistically significant either for %HRR₁₈₀, $F(1,71) = 2.51$, $p = .12$, or %HRR₃₀₀, $F(1,71) = 1.56$, $p < .22$. None of the rest of the terms in the ANOVAs were significant (all $F_s < 1$).

4.1.3.2. Motivation, Activation and Subjective Workload.

The analyses revealed a significant main effect of sport participation in terms of Activation prior to the Task, $F(1,71) = 4.74$, $p = .03$, $\eta^2_{partial} = .06$ and Motivation toward the Task, $F(1,71) = 4.94$, $p = .03$, $\eta^2_{partial} = .06$. Athletes showed greater values than non-athletes in these subjective measures. However, no significant differences

between groups were obtained in Perception of the PVT cognitive workload, $F(1,71) = 2.56$, $p = .11$. No gender differences were found in Activation prior to the Task, Motivation toward the Task or Perception of the PVT cognitive workload (*all* $F_s < 1$). The interaction between sport participation and gender was not significant for any of the variables (*all* $F_s < 1$).

4.1.3.3. Vigilance performance

The analysis of the participants' mean RTs revealed significant main effects of sport participation, $F(1,71) = 17.27$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{partial}} = .19$ (see Figure 5) and time on task, $F(1.50,106.67) = 5.84$, $p = .003$, $\eta^2_{\text{partial}} = .08$. Athletes were faster than non-athletes. Regarding the main effect of time on task, Tukey HSD post-hoc tests showed significant differences between block 1 (317 ms) and block 3 (353 ms), $p < .001$. Neither the difference between block 1 and block 2 (330 ms), $p = .36$, nor that between block 2 and block 3, $p = .05$, were statistically significant. None of the remaining terms in the ANOVA reached statistical significance (*all* $F_s < 1$).

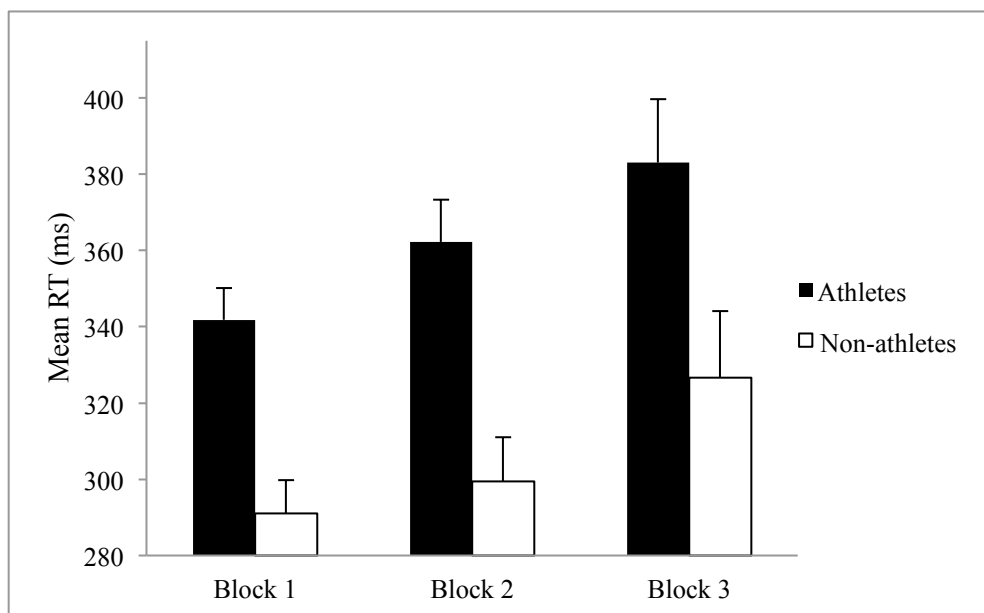


Figura 3. Mean RT as a function of time on task and group. Bars represent standard errors of the mean. * $p < .05$ indicates significant differences between groups.

The analysis of the participants' lapses revealed significant main effects of time on task, $F(1.71,122) = 7.41$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{partial}} = .09$, and sport participation, $F(1,71) = 15.08$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{partial}} = .18$. Interestingly enough, these main effects were better qualified by the significant interaction between time on task and sport participation, $F(1.71,122) = 3.20$, $p = .04$, $\eta^2_{\text{partial}} = .04$ (see Figure 2). Tukey HSD post-hoc test showed that athletes did not show significant difference in the number of lapses either between block 1 and block 2, $p = .99$, between block 1 and block 3, $p = .53$, or between block 2 and block 3, $p = .41$. In contrast, non-athletes showed a significant increase in the number of lapses from block 1 to block 2, $p = .03$. The difference between block 2 and block 3 was not significant, $p = .87$. None of the remaining terms in the ANOVAs were statistically significant (all F s < 1).

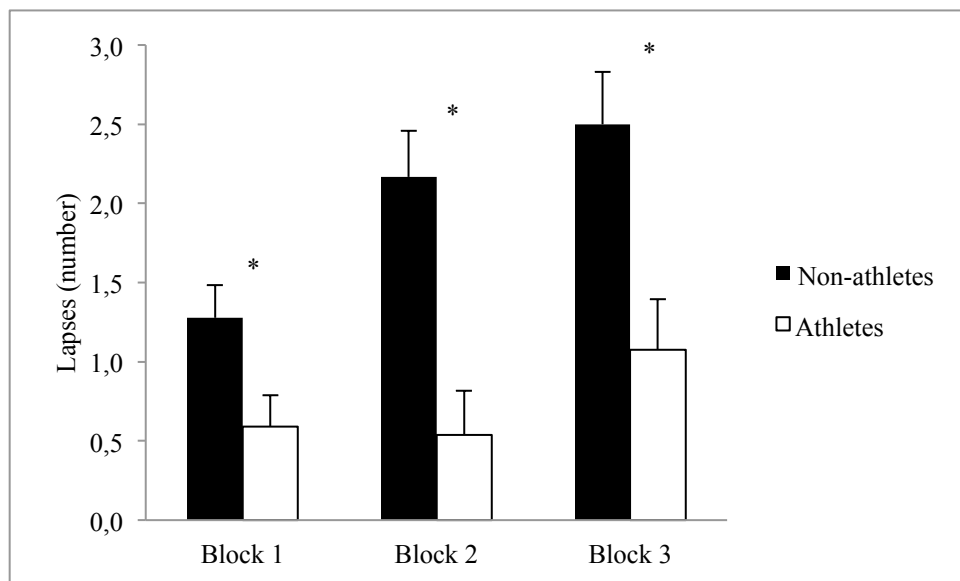


Figura 4. Lapses as a function of time on task and group. Bars represent standard errors of the mean. * $p < .05$ indicates significant differences between groups.

4.1.3.4. Correlation analyses

The correlation analyses did not show any significant relationship between the PVT main dependent variables (overall mean RT and lapses) and the scores of Activation prior to the task, Motivation toward the task and Perception of the PVT

cognitive workload in any of the groups (all $ps > .2$). Crucially, none of the correlations between the PVT main dependent variables and the main index of cardiovascular fitness (TTE) were significant (all $ps > .3$).

Tabla 4. Correlation analysis between independent and dependent continuous variables

Variables	Non-athletes		Athletes	
	Mean RT	Lapses	Mean RT	Lapses
Activation prior to the task	-.03	-.09	-.19	-.12
Motivation toward the task	-.03	.14	-.23	-.17
Perception of the PVT cognitive workload	.16	.09	-.08	-.12
Time-to-Exhaustion (TTE)	-.13	-.18	-.04	.00

4.1.4. Discussion.

The main purpose of the present study research was to investigate the relationship between sport participation and vigilance performance during early adolescence, exploring the role of cardiovascular fitness on this relationship. We were also interested in looking at the potential influence of gender, motivation toward the task and subjective arousal on the relationship between sport participation and vigilance performance.

Our results showed that cardiovascular fitness level was significantly greater in athletes than in non-athletes. This result goes beyond previous research by showing superior physical fitness not only in male (Hammami et al., 2013; Tomi Vääntinen, Blomqvist, Nyman, & Häkkinen, 2011), but also in female adolescent football players compared to their age-matched counterparts. This difference in cardiovascular fitness between athletes and non-athletes was expected since aerobic fitness is constantly

stimulated in different sports, such as football, through training and competition (Reilly, 2005).

Concerning performance in the PVT, we found no significant differences between males and females. This result is consistent with a study by Venker et al. (2007) who also used the PVT to evaluate vigilance in children. While they found gender differences at the age of 6, with boys responding faster than girls, these differences disappeared progressively until performance was approximately equal by age 11. However, the results reported here seem to be inconsistent with those reported in a previous study by Beijamini, Silva, Peixoto, & Louzada (2008), who found faster RTs and fewer lapses in males than female adolescents of 13-16 years old in the PVT. On the other hand, other studies have shown that gender differences are present in young and older adults (Blatter et al., 2006) indicating that differences may reemerge during adolescence. Given the lack of consistency in the literature mentioned above, further research is needed to clarify the role of gender in vigilance during adolescence. In any case, gender did not seem to influence the relationship between sport participation and vigilance performance.

Crucially, our results showed that athletes responded faster and committed fewer lapses than non-athletes. Indeed, in terms of lapses, athletes were also able to maintain a similar level of performance throughout the task, while non-athletes showed a significant increase in the number of lapses over the course of the PVT. These results suggest a positive relationship between regular sport participation and vigilance performance, which is not trivial, given the importance of maintaining a sufficient level of vigilance in many day life activities during adolescence. Interestingly, the between-group difference in vigilance capacities did not seem to be influenced by motivation

toward the task and/or perceived activation prior to the task, even though the two groups of participants significantly differed in these two measures.

When looking at the possible causal relations between physical activity and cognitive processing, previous research have shown that chronic aerobic exercise results in enhanced brain structure and functioning throughout the life span (Chaddock et al., 2011; Colcombe & Kramer, 2003). The “cardiovascular fitness hypothesis” (North, McCullagh, & Tran, 1990) suggests that cardiovascular fitness is the physiological mediator that explains the cognitive benefits of physical activity. Nonetheless, the results of an extensive meta-regression (Etnier et al., 2006) did not support that hypothesis and concluded that cardiovascular fitness was unrelated to cognitive performance among children and adolescents, suggesting that other variables than aerobic fitness may play an important role on the relationship between physical activity and cognitive processing. In fact, in the same line, two results reported here are inconsistent with the “cardiovascular fitness hypothesis”: 1) the non-significant correlations between the main indices of vigilance performance (overall RT and lapses) and the main index of physical fitness (TTE), and 2) the non-significant differences in performance in the PVT between males and females, although they were considerably different in terms of cardiovascular fitness.

Any discussion regarding the lack of a significant relationship between vigilance performance and cardiovascular fitness in our participants should, however, take into account the fact that the PVT, in contrast to the flanker task used by Pontifex et al. (2012) and other vigilance tasks that involve response inhibition to unpredictable stimuli (e.g., Oddball Task, sustained attention to response task, SART, Robertson et al., 1997) does not involve high executive demands. In that sense, the “selective improvement hypothesis” (Kramer et al., 1999), which has complemented the

“cardiovascular fitness hypothesis” suggests that gains in cardiorespiratory fitness, lead to selective, rather than generalized cognitive benefits, showing throughout studies the largest fitness-related improvements in tasks with substantial executive control demands and minor-to-no effects in tasks that do not require executive functioning (Colcombe & Kramer, 2003, for a review). Thus, one might argue that the lack of a significant relationship between cardiovascular fitness and the measures of cognitive processing used in our study could be due to the low executive demands of the PVT used here.

Interestingly, our findings seem to be consistent with the “cognitive component skills” approach (Voss et al., 2010), which highlights that athletes show enhanced cognitive performance in perceptual-cognitive measures outside of the sport context. According to Voss et al. (2010, pg. 822), this hypothesis considers *“sport training as a medium for experience dependent brain plasticity, or cognitive training, that results in more efficient brain networks (both general and sport-specific)”*. For instance, a recent study by Vääntinen, Blomqvist, Luhtanen, & Häkkinen (2010) with adolescents, showed that football players outperformed non-athletes in a simple RT task that lasted for less than 1 minute. Here, we replicated these results and went a step forward by showing in a longer duration attentional task superior vigilance performance in adolescents as a function of regular football participation.

It is worth noting, however, that any potential explanation of the present results needs to take into consideration the “nature” vs. “nurture” debate, which is inherently linked to any cross-sectional study related to the topic of this research. Did our athletes start playing football because of their superior cognitive abilities to excel in the field, or did they develop and reinforce their cognitive skills through sport-dependent learning? This question cannot be unequivocally addressed without long-term follow-ups and longitudinal studies that track athletes at various levels in different sports, to investigate

how cognitive abilities may differ as a function of sport-dependent experience and learning.

In relation to the sport-dependent learning argument, some authors have pointed out that demands of perceptual-cognitive skills required during sport training environment may lead to a reduction in the processing of task-irrelevant information and to an adaptation of the most frequent task demands (Pesce & Bösel, 2001). This would increase the allocation of attentional resources to deal with unusual conditions (Pesce & Bösel, 2001). In our study, we found that the overall RT and lapses were significantly lower (and more resistant to the time on task effect in the case of lapses) in athletes than in non-athletes, suggesting better allocation of resources to maintain selective attention and better attentional focus amid distraction (Drummond et al., 2005; Mann et al., 2007)

Overall, our results seem to support the “cognitive component skills” approach, by showing a positive relationship between regular sport participation and vigilance performance. However, on the basis of the extant literature supporting the “selective improvement hypothesis” and the strong correlation between sport participation and fitness (i.e., football players were more fit than our non-athletes), we cannot discard the “selective improvement hypothesis”. Actually, the two hypotheses might not be mutually exclusive. In fact, we do consider the sport training context as a stimulating environment, where both cardiovascular fitness and perceptual-cognitive skills are enhanced, which might in turn influence cognitive function. It is important to note here, that our results do not distinguish between the impact of generic sports participation and the specific effects of football participation on vigilance performance. Further research comparing groups of participants from different sport types are needed to clarify the

effect of different sport types on vigilance performance. To pursue this goal we designed the Experiment 2.

4.2. Experiment 2

Sport participation and vigilance in children: influence of different sport expertise, cardiovascular fitness and speed demands of the vigilance task

This experiment has been published as:

Ballester, R., Huertas, F., Molina, E., & Sanabria, D. (2017). Sport participation and vigilance in children: Influence of different sport expertise, *Journal of Sport and Health Science*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jshs.2017.05.008>

4.2.1. Introduction.

In the present study, we were interested to investigate whether the vigilance benefits of regular sport participation observed in the previous study with adolescents would appear in the last stage of the childhood. We were also interested in keep exploring not only the influence of the cardiovascular fitness level on the exercise-vigilance relationship, but also the potential influence of different sport expertise. To accomplish this goal, in addition to a non-athlete group, we recruited two different groups of sport practitioners: 1) athletes from an externally-paced sport (EP, football) and athletes from a self-paced sport (SP, track & field).

Since different sport contexts impose distinctive perceptual-cognitive demands, sport modality has shown to be a potential moderator of the exercise-cognition relationship (Mann et al., 2007; Voss et al., 2010). During EP sports, athletes are required to react quickly and accurately in a highly unpredictable sport environment, while during SP sports athletes are typically exposed to a lesser degree of temporal pressure demands in the response to external stimulus. Thus, it would be expected that potential differences in vigilance performance between groups might be modulated by the speed response requirements of the task. To validate such hypothesis, in the Experiment 2 we manipulated the velocity demands of the PVT (normal vs. speed).

Few studies have investigated the influence of different sport expertise on the relationship between regular exercise and vigilance performance. In fact, the empirical evidence is limited, to the best of our knowledge, to one study with young adults (Lum et al., 2002) and our previous study with adolescents. Lum et al. (2002) compared the performance of EP athletes (football, volleyball players), SP athletes (swimmers, track & field athletes) and non-athletes in a visual attention task, showing faster RTs for sport practitioners, regardless of sport type, as compared to non-athletes, a finding interpreted

by the authors as an indicator of better vigilance performance (Lum et al., 2002). Taken together, these results seem to be consistent with the “cognitive component skills approach” (Mann et al., 2007; Voss et al., 2010), the “cognitive skill transfer” theory (Taatgen, 2013), and the “broad transfer” (Furley & Memmert, 2011) hypothesis which stand that learning and practicing certain activity (e.g. sport training) may lead to adaptations in basic cognitive abilities which in turn can transfer to different skills in other domains.

Some studies have also focused on the role of cardiovascular fitness on the relationship between exercise and cognitive functioning during childhood. For instance, Pontifex et al. (2012), showed fewer errors of omission in a flanker task in high-fitness 9-10 years old children than in their low-fitness counterparts, a result that was taken as a piece of evidence of superior sustained attention capacities in the high-fit group. The positive relationship between aerobic fitness and sustained attention in children has also been supported by a functional magnetic resonance imaging (fMRI) study (Chaddock et al., 2012). Taken together, these results are consistent with the cardiovascular fitness hypothesis (Colcombe & Kramer, 2003; North et al., 1990), which suggests that cardiovascular fitness is the physiological mediator that explains the cognitive benefits of regular exercise.

In sum, researchers have evaluated the relationship between vigilance and regular practice of exercise in children, considering either aerobic fitness or sport expertise, but there is no investigation considering both factors in the same study. In the same vein, although vigilance performance has been related to gender (Beijamini et al., 2008; Venker et al., 2007), no previous study has considered the potential role of gender in the association between sport participation and vigilance in children (see Experiment 1 for evidence in adolescents). In line with previous direct evidence testing the influence

of gender in the vigilance capacities of children from the age range of our participants (Venker et al., 2007), we did not expect differences in cognitive performance as a function of gender.

According to the “cardiovascular fitness” hypothesis it might be expected that both groups of sport practitioners, who were expected to show better cardiovascular fitness than non-practitioners, would outperform non-athlete children in vigilance performance. Consistent with the findings supporting the “cognitive component skills” approach, however, we predicted an advantage in vigilance performance for football players compared to track & field athletes and specially non-athletes. Concerning the velocity demands manipulation, due to the requirement for athletes of open-skill sports to react quickly under temporal pressure to different external cues from a fast-changing and highly unpredictable environment, we hypothesised larger performance differences in the speed condition than in the normal PVT condition in favour of football players.

4.2.2. Methods.

4.2.2.1. Participants.

An a priori power analysis was conducted to determine the minimum sample size required for a power level of .80. This analysis was based on data from our previous study comparing the performance in the PVT of a group of adolescent football players and their age-matched non-athlete counterparts. This analysis gave an outcome of 19 participants per group. Consequently, sixty children were recruited to participate in this study. For the sports participation groups, 20 participants (8 females) from a Spanish League junior team formed the football players group (open-skills sport) and 20 track & field athletes (12 females) from an athletic club formed the athletes group

(closed-skills sport). Participants of both groups were matched in terms of regular sport participation as they all attended to specific training sessions two times per week and competition on weekends (4 hours per week of deliberate sport practice according to the criteria established by Ericsson, Krampe, & Tesch-Römer (1993)). All of them reported more than 4 years of systematic sport participation in their respective sport modality and no regular practice of other sports. For the control group, 20 participants (10 females) from a local school who met the inclusion criteria of not reporting any sport experience and regular sport participation out of school (1 hour or less per week) were selected. None of the participants had an individual education plan or accommodations to receive direct or indirect special education services (e.g., attention deficit disorder, cognitive or physical disability).

4.2.2.2. Apparatus, materials and procedure.

Participants were evaluated in the same season and at the same time of the day in two separate occasions (Vigilance task session and Fitness assessment session were completed in a counterbalanced order between participants) with a minimum interval of 2 days and a maximum interval of 7 days. After last session, participants were debriefed on the purposes of the study and given an explanation of their results with easily understandable data (see Anexo 4).

Vigilance task session

The participants were fitted with a Polar RS800CX HR monitor (Polar Electro Ltd., Kempele, Finland). Subsequently, they rested for five minutes in a seated position to record the baseline pre-testing heart rate (HR). Successively, participants completed the PVT (see details below) using a laptop PC (HP 15-inch color screen) running the E-Prime software (Psychology Software Tools, Pittsburgh, PA, USA) that controlled the

presentation of stimuli, timing operation, and collection of responses. Participants performed the PVT sitting on a chair at 60 cm from the computer monitor. The baseline HR and the PVT were completed in a dimly illuminated and noise-reduced room. Afterwards, participants completed two questionnaires. First, the Spanish validated version (Cosi, Vigil-Colet, Canals, & Lorenzo-Seva, 2008) (BIS-11c) of the revised form (Patton, Stanford, & others, 1995) of the *Barrat Impulsiveness scale* (BIS) was administered to measure impulsiveness. We analysed a composite scale comprised of the scores of the motor, planning and cognitive impulsivity scales. Then, the *Kaufman Brief Intelligence Test* (Kaufman & Kaufman, 1990) (K-BIT) was completed. The K-BIT is an individually administered screening tool widely used to assess verbal and nonverbal intelligence within the age group tested in the present study (Pontifex et al., 2012). Impulsivity and intelligence were measured to control for potential confounding factors that may influence the relationship between sport participation and vigilance performance during childhood.

Psychomotor vigilance task

On each trial, a Gabor patch ($4.20^\circ \times 4.20^\circ$) with a horizontal orientation appeared at the centre of the screen in a grey background. Later, at a random time interval (between 2000 and 10000 ms), the lines abruptly changed their orientation to vertical (see Figure 4 Experiment 1). Participants were instructed to respond to this change by pressing the space bar on the laptop PC with the index finger of their dominant hand. The PVT was divided into two different conditions (normal condition vs. speed condition). The first condition started with a practice block of 1 minute of duration. Subsequently, another block of 1 minute was performed to estimate the baseline mean RT of the participant before starting the experimental block. Each condition lasted for 9 minutes without interruption. The order of presentation of the two

conditions was counterbalanced across participants. A 5 minutes break was allowed between the two conditions in which the participants watched a cartoon animation video.

In the normal condition, participants were only instructed to respond to the target without anticipating their response. In the speed condition, participants were instructed to respond to the target as fast as possible. In the speed condition, if the response was slower than the individual baseline mean RT of the participant, the message “Quickly!” appeared on the screen and the next trial began. In both conditions, if a response had not been made within 5000 ms, the message “You did not answer” appeared on the screen and the next trial began.

Each velocity condition lasted for 9 minutes without interruption resulting in an average of 83(9) trials for the normal condition and 87(9) trials for the velocity condition.

Fitness Assessment Session

Léger Multi-stage fitness test

See Experiment 1, 4.1.2.2. *Apparatus, materials and procedure*, for details.

4.2.2.3. Design and Statistical analysis.

Analyses of variance (ANOVAs) with the between participants factors of sex (male, female) and sport participation (football, athletics, non-athlete controls) were used to analyze the physiological and behavioural data. For the RT data from the PVT, we had a factorial design with the between-groups variables of sport participation and sex and the within-groups variables of condition (normal, speed). Trials with RTs below 100 ms (1.0%) in the PVT were considered anticipations (Basner & Dinges, 2011) and therefore discarded from the analysis. Holm-Bonferroni corrected t-tests (Holm, 1979)

were used to analyze further significant main effects and interactions. Standardized effect size was reported by means of the partial eta squared for F s and Cohen's d for t -tests.

In order to assess the influence within each group of the main physical fitness variables (VO_{2max} and TTE) in the relationship between group and RT, we performed a correlation analyses between these factors and the performance in the PVT.

4.2.3. Results.

4.2.3.1. Physiological measures.

Pre-testing HR

The analysis revealed a significant main effect of sport participation in pre-testing HR, $F(2,54) = 8.93, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .25$. No significant differences were found between football players and track & field athletes, $p = .463$. In contrast, both track & field athletes, $t(38) = 4.35, p < .001, d = 1.41$, and football players, $t(38) = 2.75, p = .018, d = .89$ showed lower pre-testing HR values than non-athletes (see Table 1). Neither the main effect of sex, $F(1,54) = 3.45, p = .069, \eta^2_{\text{partial}} = .06$, nor the interaction between sport participation and sex, $F(2,54) = 2.96, p = .060, \eta^2_{\text{partial}} = .10$, reached statistical significance for pre-testing HR.

Tabla 5. Mean (SD) of participants' demographic, fitness, PVT and scores in the K-BIT and BIS-11 scale

	Football players (n = 20)	Track & Field athletes (n = 20)	Non-athletes (n = 20)
Demographic characteristics			
Age (years)	11(0.2)	11(0.2)	11(0.2)
Physical activity per week(hrs)	4(0)	4(0)	0.8(0.5) ^{***†}
Cardiovascular fitness measures			
Pre-testing HR (bpm)	68(10)	66(6)	76(9) ^{*††}
Maximal HR (bpm)	205(6)	201(8)	202(9)
Time to Exhaustion (sec) [#]	442(146)	372(96)	241(120) ^{***††}
HRR ₁₈₀ index (%) [#]	43.7(3.8) [†]	40(5.4) [*]	36.3(5.2) ^{***†}
VO _{2max} [#]	50.5(0.5)	49.3(0.3)	47.6(0.4) ^{***†}
Psychomotor Vigilance Task			
Mean RT (ms)	365 (56) [†]	415(48)	440(96) [*]
K-BIT			
IQ Composite (pts)	97(12)	100(11)	97(12)
Impulsivity			
Impulsivity Composite (pts)	26(5.9)	26.7(6.6)	25(6.9)

$p < .05$, $**p < .001$, compared with football group; $†p < .05$, $††p < .001$, compared with track & field group; $‡p < 0.05$, significant difference gender main effect.

4.2.3.2. Léger Multi-stage fitness test

The analyses with participants' TTE in the Léger Multi-stage fitness test revealed a main effect of sport participation, $F(2,54) = 12.76$, $p < .001$, $\eta^2_{\text{partial}} = .32$. No significant differences were found between football players and track & field athletes, $t(38) = 4.35$, $p = .082$, $d = .58$, while significant differences were found between football players and non-athletes, $t(38) = 4.77$, $p < .001$, $d = 1.55$, and between track & field athletes and non-athletes, $t(38) = 3.82$, $p < .001$, $d = 1.24$ (see Tabla 4). Regarding

gender, the analyses revealed that males showed greater TTE values than females, $F(1,54) = 13.30, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .20$. The interaction between sport participation and gender was not statistically significant for TTE, $F(2,54) = 1.51, p = .23$.

A main effect of sport participation was also found for $\text{VO}_{2\text{max}}$, $F(2,54) = 10.98, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .29$. No significant differences were found between football players and track & field athletes, $t(38) = 2.00, p = .053, d = .65$. In contrast, significant differences were found between football players and controls, $t(38) = 4.88, p < .001, d = 1.46$, and between track & field athletes and controls, $t(38) = 3.89, p = .002, d = 1.10$. Regarding gender, the analyses revealed that males showed higher $\text{VO}_{2\text{max}}$ than females, $F(1,54) = 9.74, p = .003, \eta^2_{\text{partial}} = .15$. The interaction between sport participation and gender was not statistically significant, $F(2,54) = 1.29, p = .28$.

No differences as a function of sports participation were shown in HR_{max} , $F(2,54) = 1.20, p = .309, \eta^2_{\text{partial}} = .04$, suggesting that participants in the three groups gave a maximal effort in the physical test. The main effect of gender and the interaction between sport participation and gender did not reach statistical significance (both F s < 1).

Regarding HR recovery, the analyses revealed a main effect of sport participation in HRR_{180} , $F(2,54) = 13.22, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .33$. Football players showed better HR recovery than controls, $t(38) = 5.13, p < .001, d = 1.67$ and track & field athletes, $t(38) = 3.89, p = .029, d = .83$. The difference between track & field athletes and controls was also significant, $t(38) = 2.19, p = .035, d = .71$. The analysis also revealed a main effect of gender for HR recovery, $F(1,54) = 12.26, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .18$. This main effect was further explained by the interaction between sport participation and sex, $F(1,54) = 3.97, p = .025, \eta^2_{\text{partial}} = .13$. Non-athletes showed similar HR recovery regardless of the gender, $p = .90$, while track & field athletes, $t(38)$

= 3.97, $p < .001$, $d = 1.95$, and football players, $t(38) = 3.44$, $p = .003$, $d = 1.55$, showed significant differences in HR recovery between males and females.

4.2.3.3. K-BIT and Impulsivity.

The ANOVAs did not reveal any significant term: main effect of sport participation in IQ, $F(2,57) = 2.06$, $p = .14$, and Impulsivity ($F < 1$); main effect of gender in IQ, $F(2,57) = 1.36$, $p = .25$ and Impulsivity ($F < 1$); interaction between sport participation and gender for IQ, $F(2,57) = 1.77$, $p = .18$ and Impulsivity ($F < 1$).

4.2.3.4. Vigilance Measures.

The analysis of the participants' RTs revealed a significant main effect of sports participation, $F(2,57) = 4.72$, $p = .013$, $\eta^2_{\text{partial}} = .15$. Football players showed faster RTs than track & field athletes, $t(38) = 3.01$, $p = .014$, $d = .98$, and non-athletes, $t(38) = 2.98$, $p = .014$, $d = .97$. In contrast no differences were found between track & field athletes and non-athletes, $p = .311$.

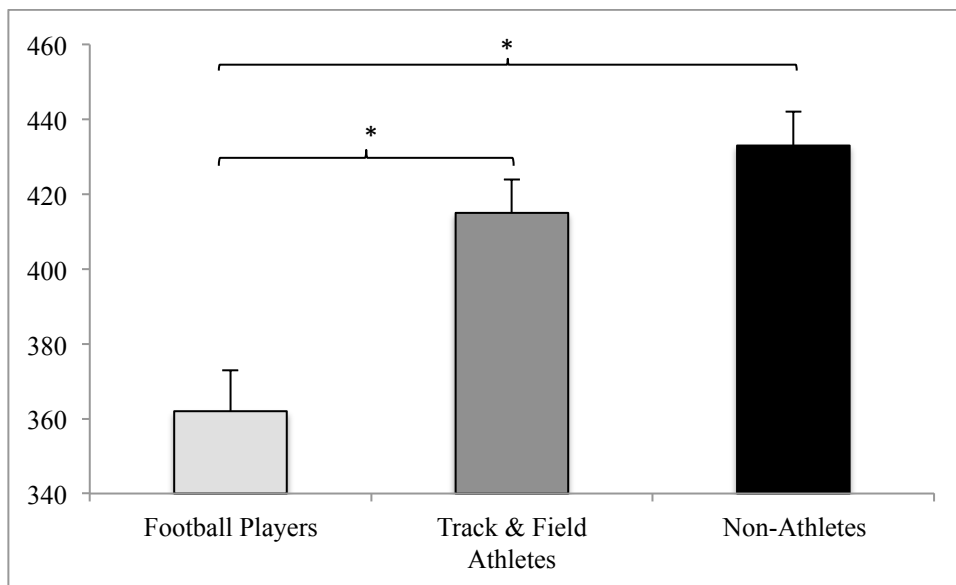


Figura 5. Mean RT(ms) in function of sport expertise. Vertical bars represent standard error. * $p < .05$

The analysis also revealed a significant main effect of condition on RT, $F(2,54) = 34.89, p < .001, \eta^2_{\text{partial}} = .39$. Participants were faster in the speed condition (373 ms) than in the normal condition (423 ms). Regarding gender, the analysis did not reveal significant differences between males and females, $F(1,54) = 2.42, p = .126, \eta^2_{\text{partial}} = .04$. None of the rest of the terms in the ANOVAs were significant [all $F_s < 1$].

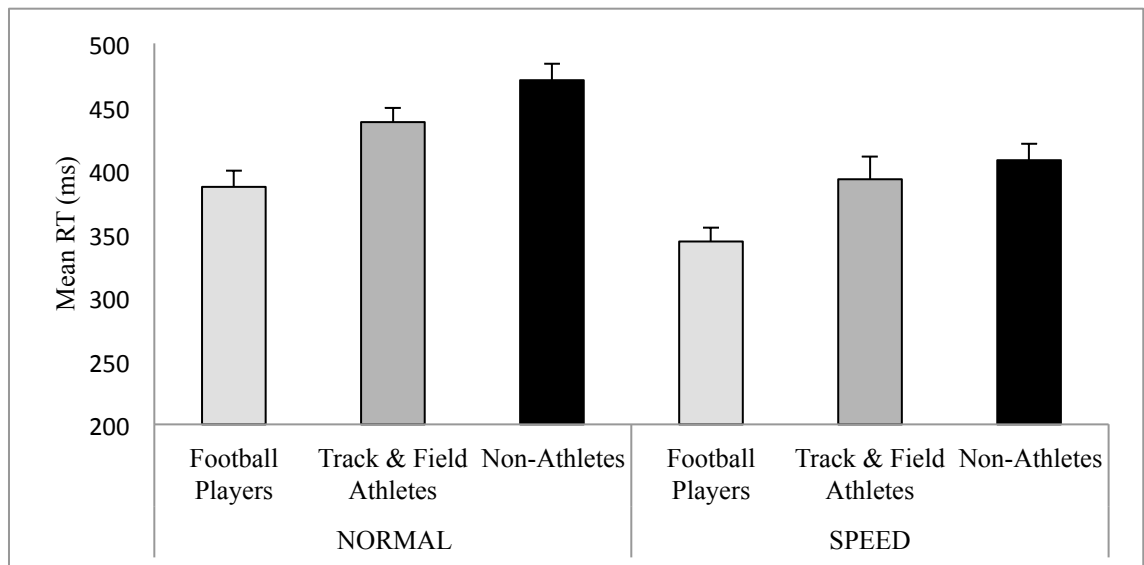


Figura 6. Mean RT(ms) per group and speed demands of the task

In order to assess the relationship between PVT performance and the main physical fitness variables ($VO_{2\text{max}}$ and TTE) within each group, we performed correlation analyses. No statistical significant results were obtained for any group (all $p_s > .3$). Therefore, these variables were not considered in subsequent analyses.

4.2.4. Discussion.

The present study is the first direct attempt to compare the vigilance capacities of children from different sport modalities assessing the influence of their cardiovascular fitness level. It represents a step forward from our previous study

because to further investigate the role of different sport expertise on vigilance performance we included one more group of sport practitioners (SP athletes). Moreover, we manipulated the velocity demands of the PVT to evaluate how the temporal response pressure demands might influence the performance of the different groups of sport practitioners.

Our results showed that regular sport participation was positively related to physical fitness, observing greater level of cardiovascular fitness in both groups of athletes compared with non-athletes. This difference in cardiovascular fitness between athletes and controls in the Léger test was supported by the between-group differences in pre-testing HR and HR recovery with greater values for both groups of sport practitioners than for controls, presumably as a result of regular endurance training (Aubert, Seps, & Beckers, 2003). No differences in pre-testing HR were found between football players and track & field athletes. In contrast, football players showed slightly better results in the cardiovascular fitness test (better HR recovery; albeit marginally significant for TTE and VO_{2max}) than track & field athletes. These differences in favour of the football players respect to track & field athletes, may be influenced by the specific characteristics of the Léger test, which reproduces more closely the intermittent efforts with continuous accelerations and decelerations performed in football.

Regarding the influence of gender in the exercise-vigilance relationship, no significant differences were found between males and females. This result is consistent with the findings of the Experiment 1, showing that gender was not modulating the relationship between regular sport participation and vigilance in young adults. In the same line, no gender or between-group differences were found for IQ and impulsivity.

Regarding the main goal of this second study, the analysis revealed no psychomotor vigilance performance advantage in track & field athletes, who showed

similar RTs to non-athletes, despite the levels of physical activity and aerobic fitness were significantly different between the two groups. In contrast, football players showed better performance in the PVT than both track & field athletes and non-athletes. This finding, although with a different population, is consistent with the main outcome of the study of the experiment 1, showing better performance in the PVT externally-paced athletes with respect to non-athletes.

Previous research investigating the causal relations between regular practice of exercise and cognitive processing has pointed to cardiovascular fitness as an important mediator (Voss, et al., 2011). The observed superior aerobic fitness and PVT performance of football players with respect to non-athlete controls would support those previous findings. In the same vein, when comparing both groups of athletes, the significant difference in favour of the group with slightly better cardiovascular fitness (football players) might be seen as another argument to support the mediating role of cardiovascular fitness in the exercise-cognition relationship. However, it is crucial to note that track & field athletes had higher cardiovascular fitness than non-athletes but did not show better performance in the PVT. In the same direction points the lack of significant correlation of the main physical fitness variables (TTE and VO_{2max}) and the indicators of performance in the PVT and the non-significant differences between males and females in the PVT, although they were considerably different in terms of fitness level. These findings are consistent with the non-significant correlations between the indices of vigilance performance (overall RT and lapses) and the main index of physical fitness (TTE) reported in the Experiment 1. Thus, one might argue that the observed superior vigilance performance of football players as compared to track & field athletes and non-athlete controls described here could be motivated by other factors apart from the cardiovascular fitness.

In recent years, some authors (Best, 2010; Diamond, 2015; Moreau & Conway, 2013; Pesce, 2012) have proposed to go beyond the mere relationship between cardiovascular fitness and cognitive function to avoid overlooking relevant aspects of exercise environment that may specifically contribute to the enhancement of cognitive functioning. This line of research suggests that the cognitive demands inherent to sensorimotor learning and performing sport complex tasks may be an important responsible for the positive association between physical activity and cognition. Consistent with this argument is the hypothesis proposed by sport expertise researchers (Mann, Williams, Ward, & Janelle, 2007; Voss et al., 2010), the “cognitive component skills”, which considers “sport training as a medium for experience dependent brain plasticity, or cognitive training, that results in more efficient brain networks (both general and sport-specific)”.

Our results, together with previous research, point to the exercise-vigilance relationship as a multifactorial process where the combination of different variables such as cardiovascular fitness and sport expertise may positively influence cognitive functioning. Therefore, the demands of perceptual-cognitive skills required in an externally-paced sport, may have improved the vigilance performance of football players as compared to track & field athletes and non-athletes. It is important to emphasize here that the PVT is far more than a simple RT task. The PVT involves high focused attention demands due to the great temporal uncertainty of the target onset. Indeed, studies that have investigated the neural basis of the PVT have associated fast responses in this task with greater activation of cerebral areas within the cortical sustained attention network (Drummond et al., 2005), and to electrophysiological indexes of top-down response preparation (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al., 2016).

The superior vigilance performance of football players may be driven by the fact that externally-paced athletes are continuously forcing their vigilance capacities through training and competition, being demanded to sustain high levels of attention to respond efficiently to external cues (e.g. movements of the ball, their teammates, opponents,...) that appear with a great degree of spatial and temporal uncertainty. Moreover, the between group differences in RTs could be also explained by the fact that quick and accurate reactions are constantly needed in open and fast-paced sports with respect to sports in which the sport environment is highly consistent, predictable and self-paced for players (Mann, Williams, Ward, Janelle, et al., 2007). Hence, the requirement for athletes from externally-paced sports (football players) to react quickly to environmental cues in a changing and unpredictable environment together with their enhanced motor coordination patterns due to their superior sporting abilities might lead them to superior performance of interceptive actions, hand-eye coordination and perception-action (Lees, 2003) resulting in developing more flexible visual attention, action execution (Pesce, Tessitore, Casella, Pirritano, & Capranica, 2007; Taddei, Bultrini, Spinelli, & Di Russo, 2012,) and in light of the present and our previous study, enhanced vigilance.

Our results point to the football training context as a stimulating environment, where both cardiovascular fitness and perceptual-cognitive skills are enhanced, which may in turn, influence conjointly cognitive functioning. However, our results do not distinguish between the specific effects of football participation and the impact of other externally-paced sports expertise on vigilance performance. To further advance in this field, in the third study of our experimental series we compared the vigilance performance of young adults with extensive sport expertise in different modalities of EP and SP sports. In this study we also investigated whether the effects of different sport

expertise on vigilance performance might be modulated by the perceptual-cognitive demands of the vigilance task.

4.3. Experiment 3

Sport expertise and vigilance performance in young adults: influence of the perceptual-cognitive task demands

This experiment has been submitted as:

Ballester, R., Huertas, F., Pablos, C., Llorens, F., & Pesce, C. (2017). Sport expertise and the modulation of vigilance and inhibitory control, *Psychology of Sport and Exercise*, (2017), *Under Review*.

4.3.1. Introduction.

In the present study, we aimed to investigate whether the vigilance benefits of regular sport participation observed in our previous studies with children and adolescents would also be present during young adulthood. We also examined the potential mediator role of different types sport expertise and cardiovascular fitness on the vigilance-cognition relationship, taking into account the potential influence of the perceptual and cognitive demands of the vigilance task. To accomplish this goal, in addition to the PVT, used in Experiment 1 and 2, we used a Go/No-go RT task with higher perceptual and inhibitory control demands than the PVT.

As reviewed in the Chapter II, in the last decades, there has been an exponential growth of interest in elucidating the relationship between physical activity (PA) and cognition (McMorris, 2015). Most of the studies in this field have focused on the role of cardiovascular fitness as the main relevant outcome of PA associated with enhanced brain health and cognition across the lifespan (Hillman, Erickson, & Kramer, 2008; McAuley, Mullen, & Hillman, 2013). Accordingly, the “cardiovascular fitness hypothesis” has entailed the assumption that cardiovascular fitness is the metabolic-physiological mediator that explains the cognitive benefits of the regular practice of PA (Smiley-Oyen et al., 2008; Stillman, Cohen, Lehman, & Erickson, 2016). However, in recent years, a more differentiated view on potential—not only metabolic—pathways, by which PA may affect cognitive functioning have been developed (Audiffren & André, 2015; Stillman et al., 2016), according to evidence that qualitatively different types of PA and PA-related outcomes are associated with structural and functional brain changes (Voelcker-Rehage & Niemann, 2013).

Interestingly, some authors (Best, 2010; Diamond, 2015; Pesce, 2012) have proposed to extend the focus of research beyond the relationship between physical fitness outcomes of PA and cognition to avoid overlooking relevant aspects of the PA environment that may specifically contribute to the enhancement of cognitive functioning. This line of research suggests that the cognitive demands inherent in sensorimotor learning and performing complex sport tasks may be a crucial factor that contributes to the positive association between PA and cognitive performance. Consistent with this argument is the hypothesis proposed by some sport expertise researchers, who have complemented the “expert performance approach”, focused on sport-specific cognitive skills (Mann et al., 2007), with the “cognitive component skills approach” (Voss et al., 2010), which considers sport training as a potential context for experiencing brain plasticity and developing non-sport-specific cognitive skills (Moreau & Conway, 2013; Moreau, Morrison, & Conway, 2015). In fact, several studies have shown enhanced performance in domain-general perceptual and cognitive tasks in expert athletes when compared with amateur athletes and non-athletes (Faubert, 2013; Heppel, Kohler, Fleddermann, & Zentgraf, 2016; Huijgen et al., 2015; Romeas & Faubert, 2015; Verburgh, Scherder, Lange, & Oosterlaan, 2014; Vestberg, Gustafson, Maurex, Ingvar, & Petrovic, 2012; Wang et al., 2013).

Meta-analytically (Voss et al., 2010), sport type has emerged as a potential moderator of the exercise-cognition relationship. This may depend on the fact that different sport contexts impose distinctive perceptual-cognitive demands. However, few studies have investigated the relationship between different types of sport expertise and domain-general cognition (Jacobson & Matthaeus, 2014; Lum, Enns, & Pratt, 2002; Nougier, Rossi, Alain, & Taddei, 1996; Pesce & Audiffren, 2011; Wang et al., 2013). In general, athletes from externally-paced (EP), open skill sports such as tennis or team

ball games have shown better processing speed than athletes from self-paced (SP), closed skill sports such as swimming or track and field (Singer, 2000; Voss et al., 2010).

The most of sport expertise-related differences have been reported as regards core executive cognitive functions necessary for planning, problem solving and goal-oriented behaviors (working memory, inhibitory control, cognitive flexibility; Diamond, 2013). Pesce and Audiffren (2011) found that athletes practicing EP sports are characterized by higher cognitive flexibility than SP athletes, as reflected in smaller switch costs. As concerns inhibitory control, there is a mixed pattern of results: athletes practicing EP sport seem better able in inhibitory control at the level of behavior (i.e., response inhibition; Wang et al., 2013), whereas athletes practicing SP sports seem to outweigh those practicing EP sports in inhibitory control at the level of attention (i.e., interference control; Jacobson & Matthaeus, 2014).

While as reviewed above, there actually is an increasing interest for the association of sport expertise with domain-general cognition and particularly with executive function, fewer studies have investigated its association with domain-general attention. In the eighties and nineties, Nougier and colleagues performed a series of experiments with different types of athletes (reviewed in Nougier & Rossi, 1999). Athletes practicing EP sports and therefore, facing high attention-demanding situations, were proven to be better able than athletes practicing SP sports to strategically modulate the orienting of attention in non-sport-specific tasks (Nougier et al., 1996). Similarly, Lum et al. (2002) compared the performance of EP athletes (soccer, volleyball players), SP athletes (swimmers, track and field athletes) and non-athletes in a visual attention task, showing a higher flexibility in the allocation of visual attention in EP than SP athletes and non-athletes. They also found that athletes, regardless of sport type, had overall higher reaction speed in performing the attentional task as compared to non-

athletes, interpreted as an indicator of better vigilance performance (Lum et al., 2002). Similarly, the results of the experiment 2 with children, suggested that vigilance performance might specially benefit from training in EP sport.

As reviewed in Experiment 1 and 2, during young adulthood, researchers have examined the relationship between vigilance and either aerobic fitness (Bunce, 2001; Bunce et al., 1993; Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016), or sport-related cognitive expertise (Lum et al., 2002), but there is no investigation considering these two factors in the same study. Indeed, there is indirect evidence of their interactive beneficial effect on executive function. Chan, Wong, Liu, Yu, & Yan (2011) performed a cross-sectional analysis of the ability to exert inhibitory control at the level of behavior (response inhibition) of athletes practicing an EP sport (fencing) as a function of their level of fitness and sport-related cognitive expertise. Highly experienced fencers were better in withholding action when necessary in a go/no-go task than their less experienced counterparts, but not when their high sport expertise was associated with an only average fitness level. This finding suggests that cardiovascular fitness acted as a moderator of the relationship between sport-related expertise and inhibitory efficiency. It is important to highlight here that response inhibition, proven to be sensitive to EP sport expertise (Chan et al., 2011; Wang et al., 2013), is a behavioral facet of inhibitory control that plays an important role in vigilance performance, as vigilance tasks demand the reaction to infrequent and unexpected stimuli by continuously suppressing the response to irrelevant stimuli.

Thus, the aim of the present study was to investigate the contribution of different types of sport expertise to vigilance performance and inhibitory control. To accomplish this goal, we used the PVT to measure vigilance performance and a Go/No-go RT task following the oddball paradigm (detection of rare events) to evaluate inhibitory control.

Given the potential overlapping or joint role of sport expertise and cardiovascular fitness for cognitive efficiency (Chan et al., 2011), but the limitation of Chan et al.'s indirect estimation of cardiovascular fitness, we included a direct cardiovascular fitness measure. In line with previous studies on the sport-unspecific cognitive advantage of being an expert athlete (Voss et al., 2010, for a review) and considering the demands in EP sports to react quickly and to maintain focus over time amid distraction, we expected better vigilance performance for both groups of athletes and especially those practicing EP sport than for non-athletes. Secondly, we hypothesized that athletes from EP sports would exhibit better inhibitory control at the level of behavior than athletes from SP sports and non-athletes (Wang et al., 2013), and subsequently would commit fewer commission and omission errors as a result of training in an environment characterized by high situational uncertainty, where they are often required to perceive external cues and suppress responses. Finally, consistently with previous research (Chan et al., 2011), we expected an interactive contribution of sport-related cognitive expertise and cardiovascular fitness specifically in the case of athletes practicing EP sport. Since the Oddball task and especially the PVT involve a strong hand-eye motor coordination component, to disentangle the truly attentional and cognitive components of the task performances, we also included in the analysis a measure of hand-eye coordination performance to be controlled for as a covariate.

4.3.2. Methods.

4.3.2.1. Participants

An a priori power analysis was conducted to determine the minimum sample size required for a power level of .80 for an alpha level of .05. This analysis was based on data from the Experiment 1, which compared the performance in the PVT of a group

of football players and their age-matched sedentary counterparts. This analysis gave an outcome of 19 participants per group. Consequently, sixty-six young adults (see Table 5) were recruited to participate in this study. For the EP sports group, 22 participants (8 females) from different sport categories (*6 football, 5 basketball, 4 volleyball, 4 tennis and 3 martial arts*) were recruited. For the SP sports group 22 participants (10 females) from different sport categories (*8 track & field, 6 swimming, 4 triathlon and 4 cycling*) were recruited. There was no difference in sporting experience between the athletic groups in terms of years of training, $t(42) = 1.08, = .285, d = .33$. In contrast, SP athletes reported more training hours per week than EP athletes, $t(42) = -2.43, = .019, d = .75$. The remaining 22 participants reported no historical specialty in any sport and were not physically active (less than 2 hours per week, not meeting minimum criteria of physical activity recommendations for their age group, WHO 2010) at the time of the study. Participants had normal or corrected-to-normal vision. All of them reported not having history of neurological problems or cardiovascular diseases, nor taking any medications that may affect cognitive functions.

4.3.2.2. *Apparatus, Materials and Procedure.*

All participants were evaluated in the same season and at the same time of the day. At the end of the study, participants were debriefed on the purposes of the study and given an explanation of their cardiovascular fitness with easily understandable data. The participants were fitted with a Polar RS800CX HR monitor (Polar Electro Ltd., Kempele, Finland). Subsequently, they rested for seven minutes in a laid back position to record the baseline pre-testing heart rate (HR). Then, they rated on a 0–100 visual analogue scale (a modified version of a scale developed by (Monk, 1989) their subjective activation and their motivation to complete the attentional task. Successively, participants completed in a counterbalanced order either the PVT or the oddball Go/No

go RT task (see details below) using a laptop PC (HP 15-inch color screen) running the E-Prime software (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002) that controlled the presentation of stimuli, timing operation, and collection of responses. Participants performed the attentional tasks sitting on a chair at 60 cm from the computer monitor. The baseline HR and the PVT were completed in a dimly illuminated and noise-reduced room. After the completion of each attentional task, the participants rated the perception of cognitive workload caused by the task in the 0–100 visual analogue scale. Then participants completed a questionnaire to evaluate Competitiveness (C-10, Remor, 2007), before completing Soda Pop Hand-Eye Coordination Test, a widespread test designed to measure coordination and mobility of the forearm, wrist, and fingers (Carr, Emes, & Rogerson, 2004; Khasawneh, Mousa, & Atiyat, 2009). Finally, the cardiovascular fitness test (see details below) was performed on a cycle ergometer (Cardgirus Medical, G&G Innovación, Spain). The C-10 and Monk scale were performed to control for potential confounding factors that may influence the relationship between sport participation and cognitive functioning.

Psychomotor Vigilance Task

See Experiment 1, 4.1.2.2. *Apparatus, materials and procedure*, for details.

Oddball Go/No-Go Reaction Time Task

Each trial began with a 500 ms central fixation cross. Following the offset of this cross, four numbers were presented to the left or right of the fixation at 9° eccentricity on the horizontal meridian. On 25% of the trials (go trials) subjects were required to make a key-press response with the index finger of their dominant hand, when the number "3" was presented in one of the four possible positions. On 75% of the trials

(no-go trials), the number did not appear after the fixation cross, subsequently participant had to withhold the response. The occurrence and order of the trial conditions were embedded randomly within each block. A practice block consisting of 16 go trials and 4 no-go trials was conducted before starting the experimental blocks. Three experimental blocks of 3 minutes were presented without interruption, including approximately 110 trials.

Soda Pop Test

To administer the test, participants were asked to stand in front of the table with the body centered with the first can on the table (see Figure 9). In response to the examiner's starting signal, the first can was turned upside down, placing it over circle 2. Then the second can was turned over circle 4 and for completing the first one way round the third can was turned over circle 5. Immediately after completing the one way round, all the three cans had to be placed back to their original positions by grasping the cans this time with the thumbs down. The entire round-trip procedure was done twice, without stopping, conforming one trial. The watch was stopped when the last can was returned to its original position, following the second trip back. The participants were required to perform the test as fast as possible placing each can always inside the circle. If a person missed a circle at any time during the test (the can was placed completely or partially outside the circle), the trial was considered null and discarded. Each participant completed two trials and the best time was registered as the key indicator of performance.

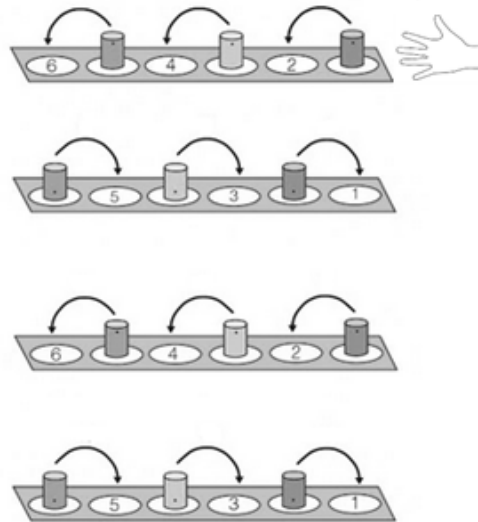


Figura 7. Procedure illustration of the Soda Pop Test (Hoeger & Hoeger, 2015).

Cardiovascular Fitness Test

Prior to starting the test, the HR monitor was adjusted to the participant's chest and the cycle ergometer was set to the individual anthropometric characteristics. The protocol consisted of a maximal graded exercise test with stable stages of 2 min and incremental periods of 1 min. The participants were instructed to maintain a constant cadence between 60 and 100 $\text{rev}\cdot\text{min}^{-1}$. The warm-up consisted on 3 minutes at 60 W; then, the first incremental period of 1 min started with an increase of 30 W during 1 minute (1 W every 2 s). Successively, stable stages of 2 min followed by incremental periods of 1 min were carried out until the participants acknowledged voluntary exhaustion and were no longer able to maintain the minimum cadence of 60 $\text{rev}\cdot\text{min}^{-1}$. The HR_{max} of the participants was registered (see Figure10) and the HR Recovery index (HRR) was computed as the percentage of reduction of the HR with regard to the HR_{max} following 180 seconds of recovery (HRR_{180}). The relative power (RW), calculated by the power output of the last stage completed divided by the participants'

weight was registered, and the Time to Exhaustion (TTE) was used as the main index of participants' cardiovascular fitness level.

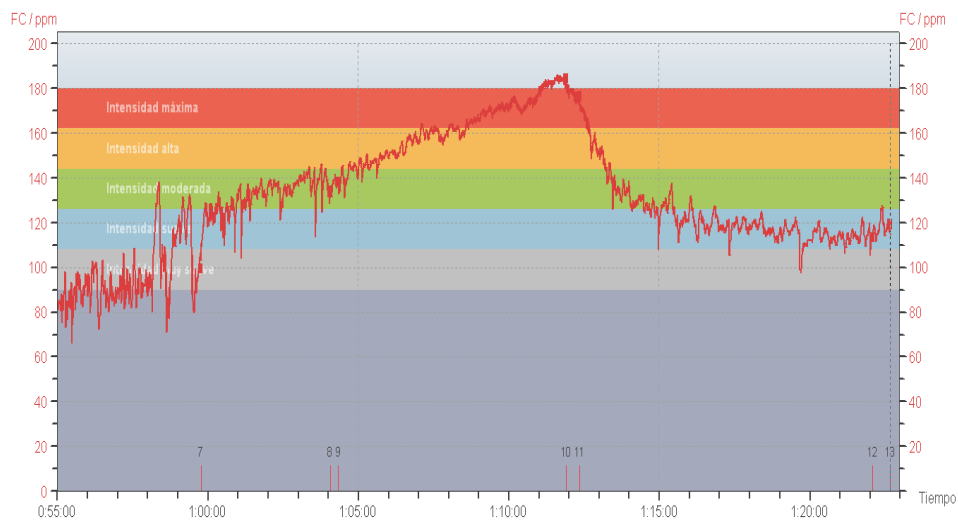


Figura 8. Heart rate evolution during the completion of the physical test.

4.3.2.3. Design and Statistical Analysis.

Design and Statistical Analysis.

The participants' descriptive, cardiovascular, motor coordination and questionnaires data (Monk, C-11) were analyzed using a one-way between-groups design. For the behavioral data from the PVT and Oddball task, we used a 3 x 3 mixed model design, with sport expertise (SP, EP and non-athletes) as between-participants factor, block (1, 2, 3) as the within-participants repeated measures factor, and cardiovascular fitness (TTE) and hand-eye coordination as covariates. According to extensive research using this task, Mean RT, RT variability (RT_{var}) and lapses (slow responses with $RT > 500ms$) were analyzed as the main indices of performance in the PVT (Basner & Dinges, 2011; Drummond et al., 2005). For the Oddball Go/No-go RT task, mean RT and RT variability were also analyzed, but two different types of errors were considered as the main performance indicators: (1) Omission Errors (OE), when

the target stimulus appeared, but the participant did not respond; (2) Commission Errors (CE), when the target stimulus did not appear, but the participant responded. In the PVT, trials with RTs below 150 ms (1.0%) were considered anticipations (Basner & Dinges, 2011) and therefore discarded from the analysis. Significant main effects and interactions were further explored by using Tukey HSD post-hoc and separate main effects analyses when appropriate.

In order to evaluate the individual and joint prediction of vigilance and inhibitory control accrued by sport-related expertise and cardiovascular fitness, controlling for the hand-eye coordination ability involved in both tasks, we performed hierarchical multiple regression analyses. To disentangle the role of hand-eye coordination in the PVT and Odball tasks from the true vigilance and inhibitory task components, hand-eye coordination performance was statistically controlled by entering it in a first block. Then, cardiovascular fitness was entered in a second block to estimate its independent role, and the sport expertise main predictors (SP and EP) were entered in a third block after accounting for the prediction of vigilance and inhibitory performance accrued by motor coordination and cardiovascular fitness. Finally, to test the hypothesized moderating role of cardiovascular fitness in the relationship between sport expertise and cognition (Chan et al., 2011), the interaction terms (Cardiovascular Fitness X SP and Cardiovascular Fitness X EP) were entered in a last block. The three-category 'group' variable was transformed in two dummy variables, with the non-athletes group being the reference category: (1) EP=1 for the EP athletes; 0 otherwise, (2) SP=1 for the SP athletes; 0 otherwise. The level of significance was set at $p < .05$ and standardized effect size was reported by means of the partial eta squared. All analyses were completed with the SPSS 21.0 Software System.

4.3.3. Results

4.3.3.1. Control Measures: Competitiveness, Sleep, Activation, Motivation and Subjective Workload

The ANOVAs did not reveal any significant between-group differences in Competitiveness and Sleep (both F s < 1), Activation prior to the task, $F(2,63) = 1.24$, $p = .29$, $\eta^2_p = .04$, and Motivation toward the task, $F(2,63) = 1.82$, $p = .17$, $\eta^2_p = .05$ (see Table 6). In the same vein, no significant differences between groups were obtained in Perception of the PVT cognitive workload, $F < 1$, Perception of the Go/No-Go task cognitive workload, $F(2,63) = 1.78$, $p = .18$, $\eta^2_p = .05$, and Perception of the overall cognitive workload of both tasks, $F(2,63) = 1.83$, $p = .17$, $\eta^2_p = .05$.

4.3.3.1. Cardiovascular Fitness and Coordination measures

Pre-testing HR

The analysis revealed a significant main effect of sport expertise in pre-testing HR, $F(2,63) = 4.24$, $p = .018$, $\eta^2_p = .12$. Post-hoc tests showed lower pre-testing HR values in SP athletes than non-athletes, $p = .006$, but no significant differences between EP athletes and SP athletes, $p = .337$, and between EP athletes and non-athletes, $p = .062$ (see Table 6).

4.3.3.2. Cardiovascular fitness test

The analyses with participants' TTE in the cardiovascular fitness test revealed a main effect of sport expertise, $F(2,63) = 33.12$, $p < .001$, $\eta^2_p = .51$. Post-hoc tests revealed a greater TTE in SP athletes than in EP athletes, $p = .014$. Significant differences were also found between EP athletes and non-athletes, $p < .001$, and between SP athletes and non-athletes, $p < .001$ (see Table 6).

Table 6. Mean (SE) of participants' demographic, fitness, coordination, PVT and Oddball task performance indicators.

	EP athletes (n = 22)	SP athletes (n = 20)	Non-athletes (n = 20)
Demographic characteristics			
Age (years)	24.6(0.9)	22.5(0.9)	22.3(0.6)
Height (cm)	176(1)	179(1)	171(2)
Weight (kg)	74.5(2.5)	72.7(1.9)	68.1(3.5)
Physical activity per week (hrs)	4.5(0.2)	5.5(0.3)	0.7(0.1)
Cardiovascular fitness measures			
Pre-testing HR (bpm)	61(2)	57(2)	67(3) [†]
Maximal HR (bpm)	186(2)	186(2)	187(2)
Time to Exhaustion (sec)	1248(47) [†]	1432(50) [*]	851(57) ^{** ††}
Relative Power (W/kg)	3.1(0.1) [†]	3.7(0.1) [*]	2.5(0.1) ^{** ††}
HRR ₁₈₀ index (%)	38.9(1)	40.8(1.2)	34.7(1) ^{* ††}
Hand-Eye Coordination			
Soda Pop Test (sec)	8.1(0.2)	8.2(0.2)	7.9(0.3)
Psychomotor Vigilance Task			
Mean RT (ms)	269(4)	281(5)	291(7) ^{**}
RT _{var} (ms)	53(3)	60(5)	82(11) ^{* †}
Lapses	0.9(0.2)	1.2(0.2)	1.8(0.2) [*]
Oddball Task			
Mean RT (ms)	472(12)	469(11)	477(13)
RT _{var} (ms)	103(6)	110(7)	121(7) [*]
Commission Errors	8(1) ^{††}	26(3) ^{**}	26(4) ^{**}
Omission Errors	4.5(0.7) [†]	7.8(1.3) [*]	10.1(1.3) ^{**}

* $p < .05$, ** $p < .001$, compared with EP athletes; [†] $p < .05$, ^{††} $p < .001$, compared with SP athletes; [#] $p < .05$, significant difference gender main effect.

Analogously, a main effect of sport expertise was found Relative Power (RW), $F(2,63) = 20.54, p < .001, \eta^2_p = .39$. Post-hoc tests revealed a higher RW in SP athletes than in EP athletes, $p = .005$. Significant differences were also found between EP athletes and non-athletes, $p < .001$, and between SP athletes and non-athletes, $p < .001$.

No differences as a function of sports expertise were found in HR_{max} , ($F < 1$). Regarding HR recovery, the analyses revealed a main effect of sport expertise in HRR_{180} , $F(2,63) = 8.67, p < .001, \eta^2_p = .22$. EP athletes showed faster HR recovery than non-athletes, $p = .007$. The difference between SP athletes and non-athletes was also significant, $p < .001$. No differences were found between EP and SP athletes, $p = 205$.

Soda Pop Coordination test

No group differences were found in the hand-eye coordination test, $F < 1$.

Cognitive functioning measures

4.3.3.3. Psychomotor Vigilance Task

Reaction time.

The analysis of the participants' mean RTs revealed a significant main effect of sport expertise, $F(2,61) = 7.01, p = .002, \eta^2_p = .19$. Post-hoc tests revealed neither significant differences between SP athletes and EP athletes, $p = .069$, nor between SP athletes and non-athletes, $p = .128$. Crucially, EP athletes were faster than non-athletes, $p = .001$ (Figure 3). There was neither a main effect of time-on-task, nor a significant interaction between sport expertise and time-on-task (both F s < 1).

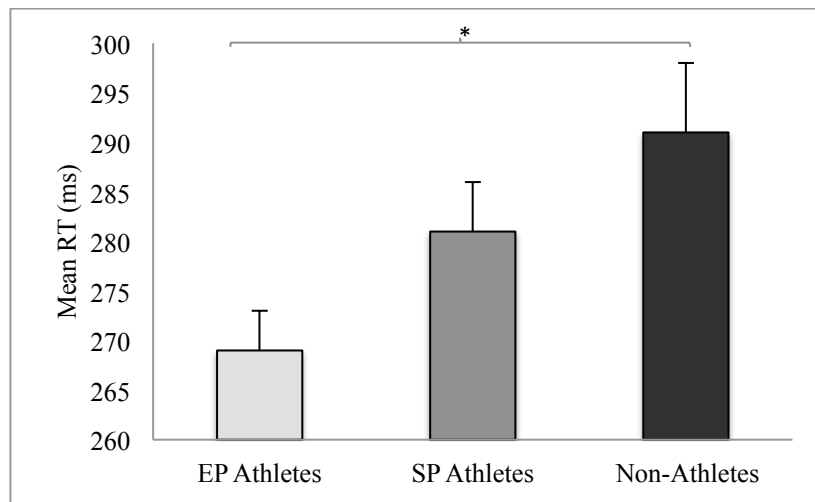


Figura 9. Mean RT as a function of sport expertise. Vertical bars represent Standard Error.

Reaction time variability.

In terms of RT variability, the analysis revealed a significant main effect of sport expertise, $F(2,61) = 3.82$, $p = .027$, $\eta^2_p = .11$. No significant differences were found in the post-hoc analysis between SP athletes and EP athletes, $p = .494$. In contrast, both groups of sports practitioners were more consistent in their responses than non-athletes, SP, $p = .036$, EP, $p = .006$, (see Figure 12). There was neither a main effect of time-on-task, $F(2,122) = 1.65$, $p = .195$, $\eta^2_p = .03$, nor a significant interaction between sport expertise and time-on-task ($F < 1$).

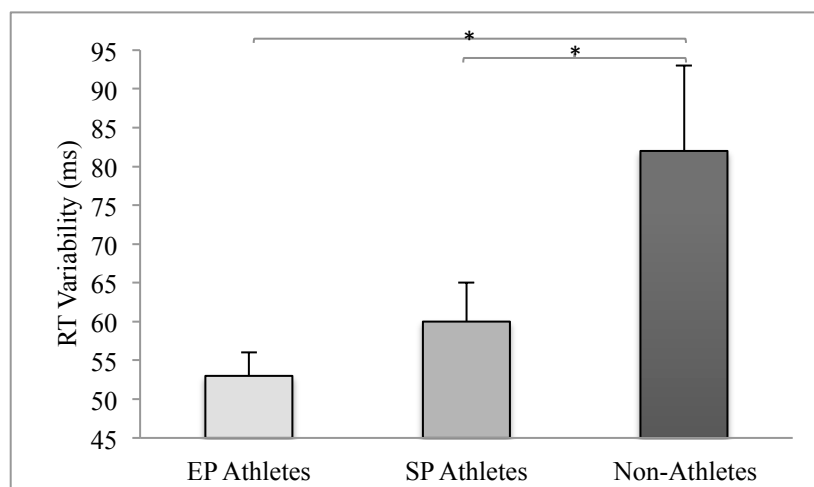


Figura 10. RT Variability as a function of sport expertise. Vertical bars represent Standard Error. * $p < .05$.

Lapses.

The analysis of the participants' lapses showed a significant differences accrued by sport expertise, $F(2,61) = 3.30$, $p = .043$, $\eta^2_p = .10$. Post-hoc tests revealed neither significant differences between SP athletes and EP athletes, $p = .440$, nor between SP athletes and non-athletes, $p = .154$. In contrast, EP athletes committed fewer lapses than non-athletes, $p = .030$. Neither a main effect of time-on-task, $F(2,122) = 1.47$, $p = .234$, $\eta^2_p = .02$, nor a significant interaction between sport expertise and time-on-task ($F < 1$) was found.

4.3.3.4. *Oddball Go/No-Go Reaction Time Task*

Reaction Time.

No between-groups differences were found for participants' mean RTs in the Oddball Task ($F < 1$). Neither a main effect on time-on-task was found ($F < 1$), nor a significant interaction between sport expertise and time-on-task, $F(4,122) = 1.33$, $p = .262$, $\eta^2_p = .04$.

Reaction time variability.

In terms of RT variability, a significant main effect of sport expertise was found, $F(2,61) = 3.36$, $p = .041$, $\eta^2_p = .10$. Post-hoc tests revealed neither significant differences between SP athletes and EP athletes, $p = .458$, nor between SP athletes and non-athletes, $p = .202$. In contrast, EP athletes were more consistent in their responses than non-athletes, $p = .046$. There was no main effect of time-on-task ($F < 1$), but a significant interaction between sport expertise and time-on-task, $F(4,122) = 2.99$, $p = .021$, $\eta^2_p = .09$. Post-hoc tests revealed that between-groups differences in RT variability were only significant in block 1, showing EP athletes, less variability in their responses than both SP athletes, $p = .012$, and non-athletes, $p = .016$.

Commission Errors.

The analysis of the Commission Errors (CE) showed a significant main effect of sport expertise, $F(2,61) = 12.65$, $p < .001$, $\eta^2_p = .29$. No significant differences were found between SP athletes and non-athletes, $p = .100$. Crucially, EP athletes committed fewer CE than both SP athletes and non-athletes (both $ps < .001$; Figure 13 left). There was neither a main effect of time-on-task, nor a significant interaction between sport expertise and time-on-task (both $Fs < 1$).

Omission Errors.

The analysis of the Omission Errors (OE) showed a significant main effect of sport expertise, $F(2,61) = 3.85$, $p = .027$, $\eta^2_p = .11$. No significant differences were found between SP athletes and non-athletes, $p = .155$ and. In contrast, fewer OE were observed in EP athletes than both SP athletes, $p = .042$, and non-athletes, $p = .001$ (Figure 13 right). There was neither a main effect of time-on-task, nor a significant interaction between sport expertise and time-on-task (both $Fs < 1$).

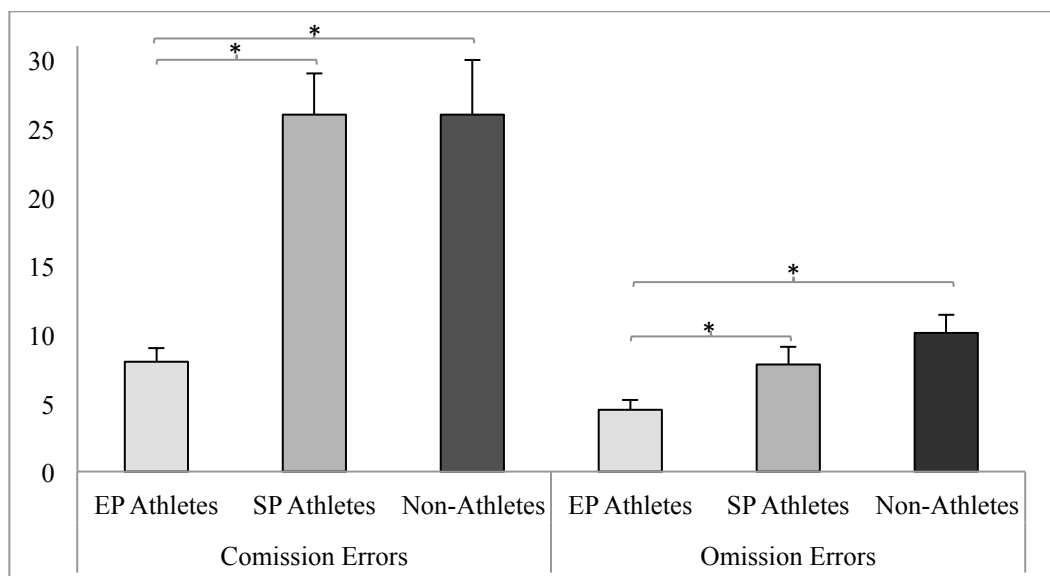


Figure 11. Commission and Omission Errors as a function of sport expertise. Vertical bars represent Standard Error. * $p < .05$.

4.3.3.5. *Correlational and Hierarchical Regression Analysis of Vigilance
and Inhibition Variables*

Table 7 provides a summary of the hierarchical regression analysis for each of the dependent variables of the PVT and Oddball task.

Table 7. Hierarchical regression models testing moderated prediction of the PVT and Oddball Task indicators of performance

Variables	Psychomotor Vigilance Task						Oddball Task							
	Mean RT		RTvar		Lapses		Mean RT		RTvar		CE		OE	
	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>	β	<i>p</i>
Factors in block 1														
Coordination	.51	<.001*	.26	.04*	.36	<.01*	.38	<.001*	.40	<.001*	.34	<.01*	.06	.61
Adj. R ²	.24		.05		.12		.13		.15		.10		-.01	
Factors in block 2														
Cardiovascular Fitness	-.11	.30	.19	.12	-.08	.49	-.03	.77	-.06	.56	.02	.83	.28	.02*
Adj. R ²	.25		.07		.11		.12		.14		.09		.05	
Factors in block 3														
SP	-.38	.02*	.39	.04*	-.28	.15	-.18	.35	-.38	.04*	-.07	.66	-.02	.09
EP	-.52	<.001*	.44	<.01*	-.35	.04*	-.12	.48	-.40	.01*	-.56	<.001*	-.34	.04*
Adj. R ²	.37		.15		.15		.10		.20		.33		.13	
Factors in block 4														
SP x CF	-.10	.56	-.02	.90	.03	.88	-.11	.53	-.14	.40	-.25	.10	.09	.56
EP x CF	-.21	.15	-.06	.77	.12	.55	.21	.30	-.02	.93	-.01	.92	.26	.21
Adj. R ²	.37		.12		.12		.11		.19		.35		.13	

Notes: SP = Self-paced sport expertise, EP = Externally-paced sport expertise, CF Cardiovascular fitness. **p* < .05. Adjusted R² and standardized β coefficients with significance level are reported.

The Durbin-Watson index (between 1.88 and 2.34) and plot of residuals suggested independence and normality of the residuals, respectively. Tolerance values (between .289 and .505) indicated lack of multicollinearity in the regression model. Taken together, these data suggest that all relevant assumptions of the multiple linear regression analysis were met.

The hand-eye motor coordination entered in the first block of the regression model significantly predicted all performance indices of the PVT and Oddball task except OE, with the largest percentage of explained variance of mean RT in the PVT (26%). Instead, cardiovascular fitness was not a significant predictor of any PVT or Oddball performance indices, except CE. After accounting for the prediction accrued by motor coordination and physical fitness variables (eye-hand coordination and cardiovascular fitness, respectively), sport expertise (SP, EP) variables added a significant percentage of explained variance of RT indices of PVT performance (mean RT and RT variability), but not accuracy (lapses). In contrast, EP was the only significant predictor of indices of performance accuracy in the Go/No go RT task (OE, CE), explaining a large percentage of variance of CE (26%). The last block of the regression model, including the interaction terms, did not add any further significant percentage of variance explained.

4.3.4. Discussion.

Previous research has pointed to superior vigilance (see Experiment 1 and 2, for evidence in children and adolescents) and inhibitory control (Wang et al., 2013) capacities in athletes when compared to non-athletes. The aim of the present study was to determine whether this potential advantage might be differentially modulated by the qualitative characteristics of different types of sport-related cognitive expertise,

controlling for the potential influence of the cardiovascular fitness level and motor coordination of the participants. We also aimed to further advance in the understanding of the vigilance-exercise relationship in respect to our previous studies, by exploring whether the effects of different types sport expertise on vigilance could be modulated by the perceptual-cognitive demands of the vigilance task.

Overall, our results add new positive evidence in favour of the superior performance of athletes in general measures of cognition. Regarding vigilance performance, differences were observed only between EP athletes and non-athletes. EP athletes showed faster RTs, fewer lapses and more consistency in their responses than non-athletes. These results are consistent with the main outcome of the Experiment 1, where we showed superior performance in the PVT (faster RTs and fewer lapses) of a group of adolescent EP athletes (football players) with respect to non-athletes, and with the Experiment 2, where a group of EP athletes (football players) showed better performance in the PVT than EP athletes (track & field) and non-athletes. Recently, Chueh et al. (2017) provided partially contrasting evidence that sport-related expertise, regardless of open/closed skills sport type, was associated with faster visuospatial attention performance, but this performance advantage was not paralleled by any modulation of P3, the most commonly investigated attention-related component of Event-Related Brain Potentials (ERPs). Instead, another attention-related ERP component, a bimodal negative difference wave named early and late Nd (Eimer, 1993), was identified as a neuroelectric correlate of the behavioral advantage in visuospatial attention of extensive practice of open skills sport (volleyball; Pesce & Bösel, 2001). Also EEG time-frequency electroencephalographic activity supports the domain-general attentional benefit of practicing open skills sports, as suggested by a higher theta synchronization, pointing to a greater engagement of attention (Wang et al., 2015).

Nevertheless, both Pesce & Bösel (2001) and Wang et al. (2015) studies contrasted data of open skills athletes with those of non-athletes, but not of closed skills athletes. In general terms, already older reviews of early neuroscientific studies of attention in sport pointed out a differential modulation of specific ERP components as a function of the attentional styles and strategies underlying overt behavior of expert athletes of different sport types and specialties (Zani & Rossi, 1991)

Regarding the inhibitory control task, no between group differences were found in our study for RTs and RT_{var}. The lack of group differences linked to sport expertise in RTs for the Go trials of an inhibitory control task is consistent with previous research on this field (Chan et al., 2011; Wang et al., 2013). Crucially, differences associated to sport expertise emerged in the most important performance indicators of the Oddball task, the accuracy indices (commission and omission errors). Interestingly, no differences were found between SP athletes and non-athletes, while EP athletes showed better accuracy than non-athletes (OE & CE) and SP athletes (CE). These findings are partially inconsistent with Jacobson & Matthaeus (2014), who showed better interference control for a group of SP athletes compared to EP and non-athletes in a modified version of the Stroop task (see for details (Delis, 2001). This divergence is probably due to the multifaceted nature of inhibition and the correspondingly wide array of tests used to measure the different facets (Diamond, 2013). Jacobson & Matthaeus (2014) found an advantage for athletes practicing SP sports in interference control, that is inhibition at the level of attention. Instead, our accuracy measure in the Go/No-Go task tapped response inhibition, which consistently resulted more efficient in athletes from EP open skills sports (Verburgh et al., 2014; Vestberg et al., 2012; Wang et al., 2013). For instance, Wang et al. (2013) showed faster stop signal RTs for EP athletes

(tennis players) when compared to SP athletes (swimmers) and non-athletes, indicating a shorter time was required for tennis players to withhold prepotent responses.

In the present study, hierarchical regression analyses were performed to further disentangle the relative contribution of sport expertise and cardiovascular fitness to the efficiency of vigilance and inhibitory control. Based on findings that EP athletes outperformed non-EP athletes in a inhibitory control task if they were high-fit, but not if they were only average-fit, suggesting that EP sport expertise inhibitory control benefits may require a minimum of cardiovascular fitness threshold to emerge (Chan et al., 2011), we expected an interactive contribution of EP sport-related cognitive expertise and cardiovascular fitness. Instead, the regression analysis showed that cardiovascular fitness was neither a significant predictor of any of the PVT or Oddball performance indices (except for OE), nor a moderator of the prediction accrued by sport expertise (Table 3). The significant prediction of OE by cardiovascular fitness is in line with previous studies with children reporting fewer OE for high-fit children compared to low-fit children (Chaddock et al., 2012; Pontifex et al., 2012). These findings might be considered as pieces of evidence supporting the “selective improvement hypothesis” which suggests that gains in cardiorespiratory fitness leads to selective, rather than generalized benefits. In this sense, studies have shown the largest fitness-related improvements in tasks with substantial frontal-lobe-dependent executive control demands (e.g. *Oddball* task used here) and minor or null effects in tasks that do not elicit executive functions (Colcombe & Kramer, 2003; Smiley-Oyen et al., 2008).

Interestingly, sport expertise, irrespective of type, predicted PVT reaction speed (RTs) and consistency in reaction speed (RT_{var}) in both the PVT and the Oddball task, suggesting that regular sport practice might specially benefit consistency and processing speed in attentional tasks. Importantly, EP sport expertise was the only significant

predictor of lapses in the PVT and the main accuracy indices of the Oddball task (OE and CE). Taken together, these results, in line with previous research (Angevaren et al., 2008; Etnier et al., 2006), seem to challenge the role of cardiovascular fitness as the unique mediator responsible for the cognitive benefits of the regular practice of physical activity in two interrelated cognitive processes such as vigilance and inhibitory control. Our results support the assumption that the cognitive demands inherent to performing complex sport tasks may be an important factor responsible for the positive association between physical activity and cognition (Moreau et al., 2015). They also add positive empirical evidence to the “cognitive component skills approach”, which conceives sport training as a stimulating medium for experiencing brain plasticity and cognitive training in both domain-general and sport-specific cognitive skills. A rationale in line with the “*cognitive skill transfer*” theory (Taatgen, 2013) and the “*broad transfer*” hypothesis (Furley & Memmert, 2011), which state that learning and practicing certain activities may lead to adaptations in basic cognitive abilities, potentially transferable to different skills in other domains.

As regards vigilance performance, it is important to highlight that it involves high focused attention, due to temporal uncertainty of the target onset. Indeed, studies that have investigated the neural basis of the PVT have associated fast responses in this task with greater activation of cerebral areas within the cortical sustained attention network (Drummond et al., 2005) and to electrophysiological indexes of top-down response preparation (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado, Perakakis, Ciria, et al., 2016). The superior vigilance performance of athletes may be driven by the fact that they are continuously forcing their vigilance capacities through training and competition, being demanded to maintain focused attention despite internal and external distractors (e.g. fatigue, pain, spectators,...) to respond efficiently to relevant cues (e.g.

EP athletes: movements of the ball, teammates, opponents,...) that appear with a great degree of spatial and temporal uncertainty. In addition, the RT and accuracy advantage of EP athletes could be determined by the fact that quick and accurate reactions are constantly needed in open externally-paced sports with respect to sports in which the sport environment is highly consistent, predictable and self-paced for players (Voss et al., 2010).

Concerning inhibitory control, the requirement for athletes from EP sports to inhibit prepotent responses to perform efficiently time-pressured decisions in response to relevant cues in a changing and unpredictable environment, together with their enhanced perceptual-motor skills due to their sport training, might result in developing more flexible visual attention (Lum et al., 2002; Pesce & Audiffren, 2011), perception-action (Lees, 2003), action execution (Pesce et al., 2007; Taddei et al., 2012) and enhanced inhibitory control at the level of behaviour (Chan et al., 2011; Wang et al., 2013).

It is important to note that previous studies assessing the relationship between different sport expertise and cognitive functioning did not consider (except Chueh et al, 2017) the cardiovascular fitness of the participants (Jacobson & Matthaeus, 2014; Memmert, Simons, & Grimme, 2009), or were only able to control for its influence by means of indirect measurement (i.e. self-reported questionnaires, (Chan et al., 2011; Wang et al., 2013). Our study represents a step forward from previous research adding a direct cardiovascular fitness measurement plus an index of the hand-eye coordination of the participants, a variable that has proven to be related to the key performance indicators of the vigilance and Oddball task. In the present research we also controlled for some potential confounding factors that may potentially affect the relationship between different sport expertise and cognitive performance, such as self-reported sleep

quality, activation, competitiveness or motivation towards the completion of the attentional tasks.

While the present study shed light on the differences between athletes with different sport expertise on inhibitory control and vigilance performance, there are some limitations to the interpretation of the current findings that require caution. For example, the cross-sectional nature of the experimental design does not allow addressing the issue of self-selection in the sport context. Indeed, some authors have pointed out that individuals with superior executive function skills are more likely to become athletes, improving their cognitive functions with sport training, in a reinforcing cycle (Jacobson & Matthaeus, 2014; Vestberg et al., 2012; Voss et al., 2010). Moreover, although we control the sport experience of the participants, we were unable to control for other activities in which individuals might improve executive control because they are demanded to focus their attention, inhibit distractors and respond to external cues in goal-oriented activities (video-games, playing music,...).

In conclusion, to the best our knowledge, the present study is the first to demonstrate the difference in vigilance performance and inhibitory control in young athletes from different sport categories and to suggest that a sport environment with both physical and cognitive demands may provide a stimulating context to enhance two key self-regulatory functions (vigilance and inhibition), crucial in different sport, work and daily life activities.

CAPÍTULO V
DISCUSIÓN GENERAL

El objetivo principal de esta tesis doctoral fue profundizar en el conocimiento de la relación entre la práctica regular de ejercicio y la vigilancia desde la niñez a la adultez temprana.

A lo largo de la serie experimental planteada, y en función de los resultados obtenidos, se ha investigado el efecto modulador de las principales variables que caracterizan a la práctica deportiva, tanto desde un punto de vista cuantitativo (condición física de los participantes) como cualitativo (modalidad del deporte practicado) sobre el funcionamiento cognitivo.

Los hallazgos de la presente tesis doctoral apuntan a una relación positiva entre la práctica deportiva regular y el funcionamiento cognitivo. Los tres estudios realizados han coincidido en destacar la preponderancia de los aspectos cualitativos de la práctica deportiva por encima de los aspectos cuantitativos en la modulación de la relación entre ejercicio y vigilancia.

A continuación, se discutirán los principales hallazgos en relación a los objetivos específicos planteados en la serie experimental.

5.1.El rol mediador de la capacidad cardiovascular sobre el rendimiento de la vigilancia.

Los resultados obtenidos en nuestro primer estudio, desarrollado con niños de 13-14 años, mostraron un mejor rendimiento en vigilancia del grupo de futbolistas respecto a los adolescentes que no realizaban práctica deportiva regular. Dado que en este estudio se comprobó que los futbolistas tenían mayores niveles de condición física que los adolescentes no deportistas, nuestros resultados avalarían la argumentación aportada por la “hipótesis cardiovascular” (Colcombe & Kramer, 2003; North et al.,

1990), y nos podrían inducir a asociar el mejor rendimiento de los futbolistas en la tarea de vigilancia planteada con su mayor nivel de aptitud cardiovascular. Sin embargo, dos hallazgos obtenidos en el presente estudio cuestionaron dicha argumentación: 1) la ausencia de diferencias en el rendimiento de vigilancia entre chicos y chicas cuando se comprobó que los adolescentes varones tenían mayores niveles de condición física que las mujeres, y 2) la ausencia de una correlación significativa entre el rendimiento en la PVT y los indicadores de condición física de los participantes. Estos resultados, aunque con una función cognitiva diferente, son similares a los reportados por un estudio que buscó investigar los efectos dos tipos de programas de intervención de EF (entrenamiento aeróbico vs. deportes colectivos) sobre el control ejecutivo de niños de 10-12 años (Schmidt et al., 2015). Los autores mostraron que tras 6 semanas de intervención ambos grupos programas de intervención aumentaron los niveles de condición física cardiovascular de los participantes, sin embargo, únicamente la intervención basada en los deportes colectivos mejoró el rendimiento de los niños en una tarea de control ejecutivo.

Los resultados de nuestro primer estudio, nos permitieron conocer el impacto de la práctica regular de fútbol durante la niñez y la adolescencia temprana sobre el rendimiento en vigilancia. A su vez, pudimos explorar la relación entre vigilancia y condición física en adolescentes. No obstante, nos encontramos como esperábamos con que nuestros participantes estaban diferenciados tanto en la práctica deportiva de fútbol como en su nivel de condición física, dado el alto grado de correlación entre ambas variables (i.e. a mayores niveles de práctica deportiva, mayor condición física). Por ello, para avanzar en el conocimiento del rol modulador de la condición física en la relación entre ejercicio y vigilancia en el siguiente estudio, además de seguir contando con un grupo de deportistas con ACF procedentes de un deporte con un entorno cambiante

(fútbol) se añadió un grupo de deportistas con ACF, en este caso, procedentes de un deporte con un entorno predominantemente estable (atletismo). Estudios anteriores llevados a cabo con niños, habían reportado una relación positiva entre la práctica regular de deportes con un entorno cambiante (EP) y el rendimiento en diferentes tareas cognitivas, fundamentalmente en tareas de control ejecutivo (Chang, Tsai, Chen, & Hung, 2013; Lakes et al., 2013; Schmidt et al., 2015). Sin embargo, ningún estudio anterior se había centrado en analizar la relación entre diferentes tipos de práctica deportiva (deportes tipo SP vs. deportes tipo EP) y el rendimiento, investigando específicamente la influencia de la condición física en dicha relación.

Los resultados obtenidos en el segundo Estudio mostraron de nuevo que ambos grupos de deportistas poseían niveles más altos de condición física que los niños no deportistas. Sin embargo, la principal aportación de este estudio fue el hallazgo de que los futbolistas fueron los únicos deportistas que mostraron mejor rendimiento en vigilancia que el grupo de niños no deportistas. Además, los futbolistas también mostraron mayor rendimiento que el grupo de atletas en la PVT, aunque ambos grupos de deportistas mostraron niveles de condición física similares. En la misma línea que en el estudio anterior, las diferencias de género en la condición física a favor de los chicos respecto a las chicas no estuvieron acompañadas de diferencias en el rendimiento en la tarea de vigilancia. Asimismo, y en la línea de los resultados del Estudio 1, los resultados de los análisis de regresión múltiple confirmaron que la condición física de los participantes no fue un predictor significativo del rendimiento en las tareas de vigilancia planteadas.

Los hallazgos de los dos primeros estudios apuntaron a una ausencia de relación entre la condición física cardiovascular y el rendimiento en vigilancia en niños y adolescentes. Estos resultados no son consistentes con los escasos estudios que han

investigado indirectamente la relación entre vigilancia y condición física en preadolescentes (Chaddock et al., 2012; Pontifex et al., 2012), mostrando menores errores de omisión en una tarea de control ejecutivo (flancos). Estos resultados aparentemente contradictorios pueden deberse a que ambos estudios anteriores no se sirvieron de una tarea específicamente diseñada para evaluar la vigilancia de los participantes como la PVT, y al contrario que en los estudios de la presente tesis doctoral, no controlaron el tipo de maestría deportiva de los participantes. Es por ello, que en el último estudio de la serie experimental se buscó seguir profundizando en el entendimiento de la relación entre condición física y vigilancia, en este caso, con jóvenes adultos, grupo poblacional en el que, aunque algunos estudios recientes habían apuntado a una relación positiva entre vigilancia y condición física (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado et al., 2013), existía evidencia empírica anterior que había constatado una ausencia de relación entre condición física y vigilancia (Bunce, 2001; Bunce, Barrowclough, & Morris, 1996; Bunce, Warr, & Cochrane, 1993).

En este último estudio, pudimos contar con deportistas con diversos años de experiencia en diferentes modalidades deportivas. Además, a diferencia de los estudios anteriores en los que el grupo de deportistas procedentes de deportes con un entorno abierto o cambiante (EP) y deportes con un entorno cerrado o estable (SP), procedían únicamente de una modalidad deportiva (fútbol y atletismo, respectivamente) en este último estudio participaron deportistas procedentes de diferentes modalidades que se pudieran enmarcar dentro de estas dos grandes categorías (deportes SP y EP). Por otra parte, para seguir profundizando en el rol modulador de la condición física y diferentes tipos de maestría deportiva en la relación entre ejercicio y vigilancia, se utilizaron dos tipos de tareas de vigilancia, la PVT, que requiere la respuesta continuada a estímulos y

reducidas demandas de control inhibitorio, y una tarea atencional que requiere la respuesta infrecuente a estímulos objetivos (paradigma *Oddball*), mientras que exige mayores demandas perceptivas y de inhibición de respuesta.

Los resultados revelaron que el grupo de deportistas procedentes de deportes SP mostró mayores niveles de condición física que los deportistas EP y el grupo de no deportistas. Sin embargo, los mayores niveles de condición física de los deportistas SP no estuvieron asociados con un mejor rendimiento en la PVT que el grupo de deportistas EP y el grupo de no deportistas. En cambio, el grupo de deportistas con menores niveles de condición física (deportistas EP) mostró mejor rendimiento en vigilancia que el grupo de no deportistas.

En su conjunto, los hallazgos obtenidos a lo largo de nuestra serie experimental van en la línea de los obtenidos por algunas investigaciones previas (Bunce, 2001; Bunce et al., 1996, 1993), indicando que la condición física de los participantes no fue un predictor significativo del rendimiento en tareas de vigilancia en adultos jóvenes. Este patrón de resultados parece contradecir los observados más recientemente() recientemente (Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016; Luque-Casado et al., 2013) en participantes de este grupo de edad (adultos jóvenes). No obstante, una posible interpretación de estos resultados contradictorios puede relacionarse con el hecho de que en los estudios anteriormente citados, los participantes fueron únicamente diferenciados por sus niveles de condición física, cuando estos niveles de condición física, a su vez, podían estar asociados a la práctica regular de diferentes tipos de deportes, con los beneficios que se ha demostrado que esta conlleva a nivel cognitivo y perceptivo-motor (Mann et al., 2007; Voss et al., 2010, para revisiones). De esta forma, consideramos que la muestra de participantes de los estudios anteriores podría haber quedado conformada por sujetos que, además de estar diferenciados en sus niveles de

condición física, también podían ser practicantes habituales de diferentes tipos de modalidades deportivas con distinta demanda perceptivo-cognitiva.

Respecto a los resultados en la tarea *Oddball*, es interesante destacar que aunque la condición física no predijo los errores de comisión, sí que se erigió como un predictor significativo de los errores de omisión. Estos hallazgos, son consistentes con los observados en estudios que investigaron la relación entre la condición física y la vigilancia en preadolescentes (Chaddock et al., 2012; Pontifex et al., 2012). Pontifex et al. (2012) compararon el rendimiento en una tarea de flancos de Eriksen en dos grupos de preadolescentes con distinto nivel de condición física (ACF vs. BCF). Los resultados revelaron un mayor número de errores de omisión y de omisiones secuenciales en preadolescentes con BCF en relación al grupo ACF. Estos hallazgos llevaron a concluir a los autores que bajos niveles de condición física cardiovascular se relacionaban con un peor rendimiento en vigilancia, aunque no todos los indicadores del rendimiento en la tarea de flancos se vieron afectados por las diferencias asociadas a la condición física (e.g., errores de comisión, TR promedio o decremento en el rendimiento con el tiempo en tarea). En otro estudio similar, Chaddock et al. (2012) se sirvieron de técnicas de fMRI para evaluar la actividad cerebral de dos grupos de niños diferenciados por sus niveles de condición física (ACF vs. BCF). Los resultados revelaron que en los ensayos incongruentes, solo los participantes con ACF fueron capaces de mantener la precisión a lo largo de la tarea, mostrando el mismo patrón de activación cerebral que en los ensayos congruentes. En cambio, los niños con BCF mostraron el típico decremento de vigilancia en errores de omisión, unido a una ausencia de diferencias en la activación cerebral con el tiempo-en-tarea. En la línea con los resultados del estudio de Pontifex et al. (2012), en este estudio se mostró que los preadolescentes con mayores niveles de condición física mostraron un mejor

rendimiento en algunos de los indicadores de rendimiento en una tarea de control ejecutivo, concretamente en los errores de omisión. Los autores interpretaron estos resultados como indicadores de que los niños con ACF mostraron mejores patrones de activación neural y distribución de recursos para mantener la atención a lo largo del tiempo. Es interesante destacar en este punto, que aunque con una población diferente (en nuestro caso jóvenes adultos), estos resultados son consistentes con los hallazgos del Estudio 3 de nuestra serie experimental, ya que la condición física de los participantes en la línea con los Estudios 1 y 2 no predijo el rendimiento en una tarea específicamente diseñada para medir la vigilancia como la PVT, pero sí que se erigió como un predictor significativo los errores de omisión en una tarea de siguiendo el paradigma *Oddball*, con mayores demandas de control ejecutivo.

5.1.1. Hipótesis de la mejora selectiva.

Los resultados obtenidos en nuestra serie experimental van en la línea de apoyar la “hipótesis de la mejora selectiva”, que postula que los beneficios sobre el procesamiento cognitivo asociados al ejercicio aeróbico y a un buen nivel de condición física se presentan de manera selectiva, siendo estos especialmente notables en tareas vinculadas a estructuras y funciones cerebrales relacionadas con el control ejecutivo (Guiney & Machado, 2013; Smith et al., 2010, para revisiones).

Es interesante resaltar en este punto, los hallazgos descritos por la investigación que dio lugar al planteamiento de la “hipótesis de mejora selectiva” (Kramer et al., 1999). En este estudio se examinó el efecto sobre el funcionamiento cognitivo de un programa de entrenamiento de 6 meses asignando a los adultos mayores a un grupo de entrenamiento aeróbico (caminar) y a un grupo de entrenamiento no-aeróbico (estiramientos y flexibilidad). Tras el programa de intervención, únicamente el grupo de

entrenamiento aeróbico mostró un mejor rendimiento cognitivo, aunque este se dio exclusivamente en las condiciones de tarea que dependían de procesos ejecutivos, no mostrando diferencias entre grupos en aquellos componentes de tarea de baja implicación ejecutiva. La naturaleza selectiva de las mejoras producidas por el ejercicio aeróbico que solo afectaron a procesos de control ejecutivo mediados principalmente por regiones frontales y prefrontales del cerebro, se tomaron como la base empírica sobre la cual Kramer et al. (1999), desarrollaron la “hipótesis de mejora selectiva”.

Posteriormente, se plantearon nuevos estudios que relacionaron positivamente el ejercicio físico aeróbico con el funcionamiento cognitivo (Colcombe & Kramer, 2003; Guiney & Machado, 2013; Voss et al., 2011, para revisiones). No obstante, diversas revisiones y meta-análisis cuestionaron el papel mediador de la condición física cardiovascular en la relación entre ejercicio y cognición (Angevaren, Aufdemkampe, Verhaar, Aleman, & Vanhees, 2008; Diamond, 2015; Etnier, Nowell, Landers, & Sibley, 2006), argumentando que las ganancias en la condición física de los participantes no se encontraban relacionadas con las mejoras en el rendimiento cognitivo. Por ejemplo, Smiley-Oyen et al. (2008) con el objetivos de testar específicamente la “hipótesis cardiovascular” y la “hipótesis de la mejora selectiva”, llevaron a cabo un programa de entrenamiento de 10 meses para explorar los efectos de diferentes tipos de ejercicio físico en tareas con diferente grado de implicación de control ejecutivo. Para ello, dos grupos de adultos mayores fueron asignados a un grupo de entrenamiento aeróbico y a un grupo de entrenamiento de fuerza-flexibilidad. Los autores concluyeron que la “hipótesis de la mejora selectiva” recibió apoyo parcial ya que únicamente se constataron beneficios cognitivos para el grupo de entrenamiento aeróbico en una tarea con importantes requerimientos de control ejecutivo (*Stroop Word-Color Task*), mientras en otras tareas con menores o nulos requerimientos de

control ejecutivo el rendimiento no se vio incrementado tras el entrenamiento aeróbico. En cambio, la “hipótesis cardiovascular” no recibió apoyo empírico, ya que las ganancias en la condición física aeróbica no estuvieron relacionadas con los cambios en el funcionamiento cognitivo.

Un hallazgo reportado en el último estudio, en cambio, parece aportar nueva evidencia empírica a favor de la “hipótesis de la mejora selectiva”, mostrando que la condición física cardiovascular estuvo relacionada con los errores de omisión en una tarea con importantes demandas de control ejecutivo. Este resultado puede deberse a que la práctica regular de ejercicio aeróbico en los deportistas, con sus inherentes adaptaciones estructurales en regiones prefrontales del cerebro (e.g. giro frontal medio) vinculadas al control ejecutivo (Chaddock et al., 2011, para revisión), haya contribuido a un mejor rendimiento en una tarea con importantes demandas ejecutivas. Este hecho puede estar vinculado a que en línea con estudios anteriores los participantes con mayores niveles de condición física hayan mostrado una mejor activación neural y distribución de recursos para mantener la atención, manifestada a nivel comportamental, en un menor número de errores de omisión (Chaddock et al., 2012; Pontifex et al., 2012).

De hecho, para explorar en su conjunto el rol modulador de la condición física en el rendimiento en vigilancia en los tres estudios, llevamos a cabo un análisis de regresión múltiple agrupando los principales indicadores de rendimiento de la PVT en los tres estudios (TRs promedio y lapsos) para determinar su relación con el VO_{2max} de los participantes. Los resultados mostraron una vez más que la condición física de los participantes no se erigió como un predictor significativo (ambas, $p > .6$) del rendimiento en vigilancia.

Considerando lo expuesto anteriormente, junto con las evidencias aportadas desde nuestra serie experimental, no se puede apuntar al nivel de condición física como el único mediador responsable de los beneficios cognitivos que puede conllevar la práctica regular de ejercicio, ya que el rendimiento en la tarea de vigilancia psicomotora no mostró relación directa con la condición física de los participantes en ninguno de los tres estudios de la serie experimental.

5.2.El papel de los aspectos cualitativos de la práctica deportiva sobre el rendimiento en vigilancia.

Uno de los aspectos más novedosos de la presente serie experimental es que, además de analizar el papel de la condición física cardiovascular como posible variable moduladora de la relación entre vigilancia y ejercicio regular, se investigó la influencia de los aspectos cualitativos del ejercicio, centrándose especialmente en el nivel de demanda perceptivo-cognitiva de diferentes modalidades deportivas practicadas.

Para cumplir tal propósito en todos los estudios de nuestra serie experimental, a diferencia de previas investigaciones en este ámbito de estudio (Bunce, 2001; Lum et al., 2002; Luque-Casado, Perakakis, Hillman, et al., 2016), se consideraron como variables independientes tanto la condición física cardiovascular de los participantes como su experiencia y práctica deportiva regular.

En el primer estudio nos preguntábamos si la práctica regular durante la niñez y la adolescencia temprana de un deporte con alta demanda perceptivo-cognitiva, como el fútbol, podría estar relacionada con el rendimiento en una tarea de vigilancia. Los resultados revelaron que el grupo de futbolistas mostró mejor rendimiento en la PVT, manifestado en un menor TR promedio y número de lapsos. Interesantemente, los

indicadores de rendimiento en la PVT, no correlacionaron con la condición física de los participantes, lo que comenzó a ser un indicador de que otras variables de tipo cualitativo podrían estar modulando esta relación entre práctica regular de ejercicio y desarrollo cognitivo.

Por este motivo, en el Estudio 2, decidimos dar un paso más en el estudio de dicha relación, investigando si las diferencias asociadas a la práctica deportiva emergerían ya en la última etapa de la niñez y añadiendo además un segundo grupo de deportistas procedentes de una modalidad deportiva con un entorno perceptivo-cognitivo diferente al del grupo de futbolistas (deportes tipo SP). De esta forma, la totalidad de la muestra quedó conformada por un grupo de no-deportistas, un grupo de deportistas practicantes de modalidades de tipo EP (fútbol) y un grupo de deportistas procedentes de deportes tipo SP (atletismo).

Los resultados principales de este estudio mostraron una ausencia de diferencias en el rendimiento en vigilancia entre el grupo de deportistas tipo SP y el grupo de no-deportista. Sin embargo, el grupo de deportistas tipo EP mostró mejor rendimiento en la PVT que el grupo de no-deportistas y el grupo de deportistas tipo SP. Además, los análisis de regresión múltiple confirmaron que ni la condición física de los participantes ni la práctica deportiva de atletismo estaban relacionadas con el rendimiento en la tarea de vigilancia. Por el contrario, la práctica deportiva regular de un deporte tipo EP (fútbol) sí que fue un predictor significativo del rendimiento en la PVT. Estos hallazgos, en la línea con previos estudios llevados a cabo con niños (Pesce et al., 2016; Schmidt et al., 2015) y los reportados en el Estudio 1, apuntaron hacia la preponderancia de los aspectos cualitativos de la práctica deportiva por encima de los aspectos cuantitativos (i.e. condición física) en la relación entre ejercicio y funcionamiento cognitivo, apuntando en concreto a la práctica deportiva de un deporte

que combina demandas físicas y mentales (como el fútbol) como un factor influyente en la relación entre ejercicio y vigilancia.

En el último estudio de nuestra serie experimental, y en base a los resultados obtenidos en los dos estudios anteriores, tratamos de seguir profundizando en la relación entre la práctica deportiva y la vigilancia, añadiendo en este caso la variable maestría o experiencia deportiva (se reclutaron participantes con más de 7 años de experiencia) en diferentes tipos de deportes (no solo fútbol) que pudieran estar englobados en dos grandes categorías: deportes tipo EP (fútbol, tenis, artes marciales,...) y deportes tipo SP (atletismo, ciclismo, natación,...). Además, nos interesamos en conocer si los efectos de la práctica deportiva sobre la vigilancia podrían estar modulados por el nivel de demanda perceptiva-cognitiva de la tarea atencional planteada.

En línea con los dos estudios anteriores de nuestra serie experimental, los deportistas procedentes de deportes tipo EP mostraron mejor rendimiento en la PVT que el grupo de no-deportistas. Sin embargo, no hubo diferencias significativas entre el grupo de deportistas tipo SP y el grupo de no-deportistas, ni entre ambos grupos de deportistas. En cambio, en la tarea con mayores demandas perceptivas y de inhibición de respuesta (*Oddball*) las diferencias entre ambos grupos de deportistas emergieron en los principales indicadores de rendimiento en esta tarea: los errores de omisión y los errores de comisión. Los análisis de regresión múltiple mostraron una vez más que la condición física de los participantes no fue un predictor significativo de ninguno de los indicadores de rendimiento en ambas tareas (a excepción de los errores de omisión). En cambio la práctica deportiva, independientemente del tipo, fue un predictor significativo de la velocidad de procesamiento en la PVT (TRs) y de la consistencia en las respuestas (RT_{var}) en ambas tareas. Estos resultados son similares a los reportados por previos estudios (Chueh et al., 2017; Lum et al., 2002) que analizaron la relación entre

diferentes tipos de maestría deportiva (SP vs. EP) y el rendimiento en tareas atencionales de búsqueda visual, mostrando una ventaja en la velocidad de procesamiento (TRs) para los deportistas, independientemente del tipo, al compararse con grupos de no deportistas.

Por otra parte, en nuestro estudio, la práctica de deportes tipo EP se erigió como el único predictor significativo de los lapsos en la PVT y de los principales indicadores de rendimiento en la tarea *Oddball* (errores de omisión y de comisión). Estos hallazgos son parcialmente consistente con los reportados por Wang et al. (2013), quienes mostraron en una tarea de control inhibitorio, respuestas inhibitorias más rápidas para deportistas practicantes de modalidades tipo EP (tenis) al ser comparados con deportistas tipo SP (natación) y no deportistas.

En su conjunto, los resultados de nuestra serie experimental, en línea con diversas revisiones y meta-análisis de la literatura en este ámbito (Angevaren et al., 2008; Diamond, 2015; Etnier et al., 2006; Pesce, 2012) cuestionaron el papel de la condición física como el único mediador responsable de los beneficios cognitivos derivados de la práctica regular de ejercicio, apuntando a la importancia de considerar los aspectos cualitativos del EF practicado.

5.2.1. Hipótesis de las habilidades cognitivas.

Nuestros hallazgos aportan nuevas evidencias a favor de la “hipótesis de las habilidades cognitivas”, que concibe el contexto deportivo como un entorno que estimula la plasticidad cerebral a través del entrenamiento perceptivo-cognitivo que experimentan los deportistas con sus consiguientes adaptaciones cognitivas generales y específicas del deporte practicado (Voss et al., 2010).

En línea con la teoría de la “transferencia de habilidades cognitivas” (Taatgen, 2013) y la “hipótesis de la transferencia amplia” (Furley & Memmert, 2011), nuestros resultados apoyan la noción general de que practicar y aprender ciertas actividades puede conllevar adaptaciones en habilidades cognitivas generales que se pueden transferir potencialmente a diferentes habilidades específicas en otros dominios. De hecho, diversos estudios han mostrado habilidades superiores de deportistas expertos al compararse con deportistas *amateurs* y no-deportistas, en diversas tareas cognitivas generales (Faubert, 2013; Heppel et al., 2016; Huijgen et al., 2015; Lum et al., 2002; Romeas & Faubert, 2015; Verburch et al., 2014; Vestberg et al., 2012; Wang et al., 2013). Además, es importante destacar, como se discute en el siguiente subapartado, que también se han manifestado diferencias en el rendimiento en diversas funciones cognitivas al compararse grupos de deportistas con diferentes tipos de maestría deportiva (p.e. Jacobson & Matthaeus, 2014; Wang et al., 2013).

5.2.1.1. *Influencia de la modalidad deportiva sobre la vigilancia.*

Los hallazgos obtenidos a lo largo de la serie experimental, junto con literatura previa (Voss et al., 2010, para meta-análisis), apuntan al rol modulador del tipo de práctica deportiva en la relación entre ejercicio y cognición. Esta argumentación se deriva del hecho que distintas modalidades deportivas imponen diferentes demandas perceptivo-cognitivas. Por ello, el rendimiento superior en vigilancia asociado a la práctica deportiva de deportes EP, puede estar condicionado porque este tipo de atletas entrenan para ser capaces de mostrar niveles de activación óptimos que les permitan mantener la atención focalizada sobre distractores internos y externos (fatiga, dolor, espectadores,...) para responder eficientemente a señales externas (movimientos del balón, compañeros, oponentes,...). Es por estas exigencias de un entorno altamente cambiante e impredecible que los atletas EP se ven exigidos en mayor grado en lo que

respecta a la percepción y respuesta estimular que los atletas procedentes de deportes con un contexto más estable y que los participantes sin práctica deportiva regular. De este modo, el entrenamiento que llevan a cabo para mejorar las habilidades perceptivo-cognitivas específicas de su deporte, puede relacionarse con una mejora en habilidades cognitivas generales, en la línea de la argumentación de la “hipótesis de transferencia amplia” (Furley & Memmert, 2011). De hecho, la práctica de deportes con requerimientos coordinativos y perceptivos complejos, se ha relacionado positivamente con ventajas en diferentes acciones de percepción-acción (Lees, 2003), velocidad de procesamiento (Voss et al, 2010, para meta-análisis) mayor flexibilidad atencional (Cereatti, Casella, Manganelli, & Pesce, 2009; Pesce & Audiffren, 2011; Pesce et al., 2007), mejor control inhibitorio (Taddei et al., 2012; Wang et al., 2013) y en base a los resultados de nuestra presente serie experimental mejor rendimiento en vigilancia.

5.3. Influencia de las demandas perceptivo-cognitivas de la tarea atencional.

Numerosos estudios han resaltado la relevancia de las demandas perceptivo-cognitivas de las tareas atencionales empleadas para evaluar el funcionamiento cognitivo como un factor influyente cuando se estudia el rendimiento en vigilancia (Oken et al., 2006, para revisión). Uno de los objetivos de la presente serie experimental fue explorar si los efectos de la práctica deportiva sobre la vigilancia podrían estar modulados por el nivel de demanda perceptiva-cognitiva de la tarea atencional planteada.

En el Estudio 2 de nuestra serie experimental planteamos una manipulación de las demandas de velocidad de respuesta, lo que propició que emergieran diferencias

entre los practicantes de diferentes tipos de modalidades deportivas. Así, nuestros resultados indicaron que durante la fase en que los participantes eran instados a responder con precisión sin presión temporal externa, únicamente se constataron diferencias significativas en favor de los practicantes de modalidades tipo EP respecto al grupo de no-deportistas. En cambio, cuando las demandas de velocidad de respuesta se incrementaban, los practicantes de modalidades tipo EP también mostraron mejor rendimiento que los practicantes de modalidades tipo SP. Este hallazgo puede estar condicionado por el hecho de que los deportistas procedentes de deportes con un entorno abierto y cambiante (EP), están requeridos a responder de forma más rápida respecto a atletas procedentes de deportes donde el entorno deportivo es predominantemente estable (SP), y por tanto, exige menores demandas a los deportistas en el procesamiento y respuesta estimular (Zentgraf, Heppel, & Fleddermann, 2017).

Por otra parte en el Estudio 3, el rendimiento en vigilancia de los diferentes grupos fue evaluado a través de dos tareas atencionales con diferentes requerimientos perceptivo-cognitivos. En la PVT, el patrón de resultados fue similar al reportado en la fase de demandas normales de velocidad de respuesta del Estudio 2, constatándose únicamente diferencias entre los deportistas de modalidades tipo EP y el grupo de no deportistas. En cambio, en la tarea *Oddball*, con mayores demandas perceptivas y de inhibición de respuesta, las diferencias entre ambos grupos de deportistas emergieron en los principales indicadores de rendimiento (errores de omisión y de comisión). Estos resultados son consistentes con la evidencia anterior que ha mostrado un mejor rendimiento en tareas de control inhibitorio en deportistas EP (tenis) al compararlos con deportistas SP (natación) y no deportistas (Wang et al., 2013). Estas diferencias pueden estar motivadas por las superiores habilidades perceptivo-motrices de este tipo de deportistas (Mann et al., 2007, para revisión) y por su habilidad de inhibir respuestas

precipitadas para responder únicamente a señales relevantes externas de un entorno altamente variable. En su conjunto, los hallazgos de ambos Experimentos sugieren que en las condiciones más demandantes a nivel perceptivo-motor, las diferencias en deportistas de diferentes modalidades se acentúan.

En conclusión, referente al papel desempeñado por los aspectos cualitativos del ejercicio práctica, nuestros resultados, en línea con investigaciones anteriores llevadas a cabo con diferentes funciones cognitivas (Best, 2010; Diamond, 2015, para revisiones) sugieren que el rendimiento en vigilancia se ve especialmente beneficiado por el entrenamiento en deportes con un entorno predominantemente cambiante, donde las demandas físicas se combinan con demandas perceptivo-cognitivas elevadas.

5.4.El rol del desarrollo evolutivo en la relación entre práctica deportiva y vigilancia.

En la presente serie experimental, para profundizar en el papel que juega el desarrollo evolutivo en la relación entre vigilancia y práctica deportiva se analizaron tres diferentes grupos poblacionales: niños, adolescentes y jóvenes adultos.

Nuestros resultados mostraron que la práctica regular de un deporte tipo SP (atletismo) durante la niñez no estuvo relacionada con la vigilancia, mientras que la práctica de deporte colectivo tipo EP (fútbol) ya se encontró positivamente relacionada con el rendimiento en vigilancia. En la misma línea, nuestros hallazgos apuntaron a una relación positiva entre la vigilancia y la práctica deportiva de un deporte tipo EP (fútbol) durante la adolescencia. Una relación, que al ser analizada en adultos jóvenes siguió un patrón de resultados similar al reportado con niños. No se encontraron diferencias en el rendimiento en vigilancia al comparar al grupo de no-deportistas con el grupo de

deportistas SP. En cambio, el grupo de deportistas EP mostro mejor rendimiento en la PVT que el grupo de no-deportistas, manifestado en una mayor consistencia (RTvar) y velocidad promedio de respuesta (RT), y mejor rendimiento en los indicadores de precisión (errores de omisión y errores de comisión) de la tarea *Oddball* que el grupo de no-deportistas y deportistas SP. En general, nuestros resultados parecen indicar que la práctica de un deporte con demandas físicas y cognitivas durante el desarrollo estimula el rendimiento en vigilancia, manifestándose esta relación positiva ya desde la niñez y la adolescencias, períodos muy sensibles debido a la plasticidad neuronal del sistema nervioso (Myer et al., 2015; Van Praag, 2008), hasta a la adultez temprana, etapa en que diversos autores han manifestado que resulta más complicado que se manifiesten los efectos moduladores del ejercicio regular sobre el funcionamiento cognitivo debido al pico de rendimiento cognitivo que se manifiesta (Hillman et al., 2008).

5.5. Ejercicio regular y funcionamiento cognitivo: una asociación compleja y multifactorial.

El objetivo general que se estableció en la presente tesis doctoral fue investigar la relación entre la práctica regular de actividad físico-deportiva y la vigilancia desde la niñez a la adultez temprana. Para cumplir tal propósito, se planteó una serie experimental que nos permitiera profundizar en el conocimiento de algunos de los factores que pueden modular esta relación, principalmente la condición física cardiovascular y la maestría deportiva en diferentes modalidades con distinto nivel de demanda perceptivo-cognitiva.

Desde nuestro punto de vista consideramos que es muy importante tomar conciencia de que para explicar los beneficios de la práctica regular de actividad físico-

deportiva sobre el funcionamiento cognitivo es importantísimo tener en cuenta los diversos moderadores y mediadores que participan en esta relación (McMorris, 2015, para revisión).

Aunque el estudio de estos mediadores se ha abordado tradicionalmente investigando su influencia aislada (e.g., condición física, “hipótesis cardiovascular”, ver Figura 13), es muy probable que estos mediadores actúen e interactúen conjuntamente con otras variables, representando únicamente una porción compleja de las diversas cadenas mediacionales que influyen sobre el funcionamiento cerebral y cognitivo (ver Figura 13).

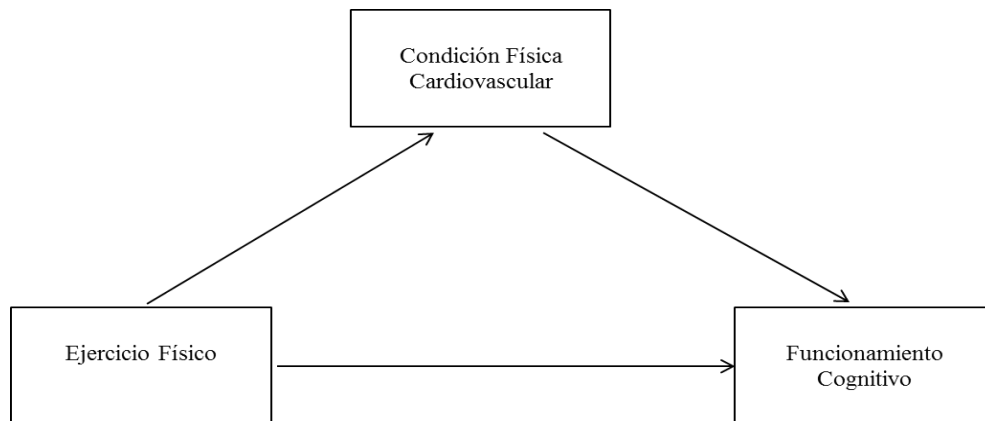


Figura 12. Rol mediador único de la condición física cardiovascular en la relación entre ejercicio físico y funcionamiento cognitivo. Fuente: Modificado de Etnier (2008).

De hecho, en la compleja y multifactorial relación entre ejercicio y cognición diversos tipos de mediadores pueden ejercer un papel contribuyente. Por una parte diferentes *mediadores fisiológicos* se han relacionado positivamente con el funcionamiento cognitivo, como la condición física aeróbica (Voss et al., 2011), el flujo sanguíneo cerebral (Davenport, Hogan, Eskes, Longman, & Poulin, 2012), las catecolaminas (Stroth et al., 2010), estructura y plasticidad cerebral (Colcombe et al., 2004) o los factores neurotróficos como la BDNF (Voss, Carr, Clark, & Weng, 2014). Estas variables pueden actuar como mediadores aislados (Figura 13) o como variables

desencadenantes de una cadena mediacional. Por ejemplo, la condición física puede desencadenar mejoras en el flujo sanguíneo cerebral, y estas mejoras a su vez, pueden influir positivamente sobre el funcionamiento cognitivo.

Por otra parte, diversos *mediadores psicológicos* que se pueden ver positivamente influenciados por la práctica regular de ejercicio, como la calidad de vida, el auto-concepto, la motivación, la impulsividad, la persistencia o la percepción de fatiga, pueden actuar de forma aislada o conjunta en las diversas cadenas mediacionales. Además, otro tipo de mediadores, que han sido definidos como *mediadores comportamentales* (Etnier 2008), pueden influenciar indirectamente el funcionamiento cognitivo a través de su impacto sobre diferentes mediadores. Entre este tipo de mediadores que pueden verse positivamente influenciados por la práctica de actividad física se encuentran variables como los hábitos alimenticios, los patrones de sueños o los hábitos disciplinarios y de autorregulación.

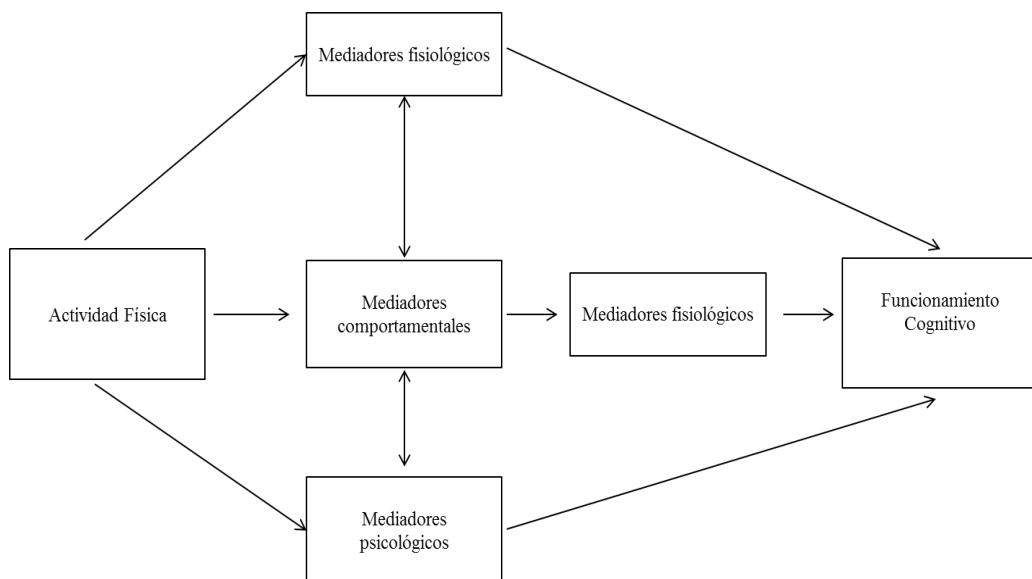


Figura 13. Rol de diferentes mediadores y cadenas mediacionales en la relación entre ejercicio físico y funcionamiento cognitivo. Fuente: Modificado de Etnier (2008).

5.6. Hacia una propuesta integradora en la relación entre la práctica de ejercicio regular y la vigilancia.

Una vez se ha discutido sobre la gran cantidad de evidencia científica relativa al rol de los diferentes tipos de mediadores que pueden influir en la relación entre la práctica de ejercicio regular y la cognición, creemos que es el momento de mover el foco del análisis aislado de los aspectos cuantitativos del ejercicio físico a un análisis más completo de cómo se produce la interacción entre los aspectos cuantitativos y cualitativos del ejercicio para influir en el funcionamiento cognitivo (Pesce & Bensoussan, 2016). En este sentido es muy recomendable que además de centrarnos en la discusión de los distintos aspectos metabólicos derivados de diferentes tipos de intervenciones basadas en el ejercicio físico, incluyamos en la reflexión la relevancia de las demandas cognitivas, coordinativas, psicosociales y comportamentales de las intervenciones y programas de ejercicio físico.

5.6.1. Demandas Cognitivas del Ejercicio Físico.

En una revisión de estudios llevados a cabo en humanos y animales Curlik & Shors (2013) sugirieron que mientras la práctica regular de EF incrementaba el número de nuevas neuronas producidas en el hipocampo, el entrenamiento cognitivo incrementaba el número de neuronas que sobreviven en el hipocampo, región cerebral muy importante en la memoria espacial. En este sentido, prestigiosos autores en este ámbito de investigación han resaltado la importancia de combinar el entrenamiento físico con el entrenamiento mental para fomentar la estimulación neural y por consiguiente la optimización los beneficios cognitivos de la práctica de EF (Moreau & Conway, 2013; Pesca, 2012, para revisiones). Para ello, se han referido a diversos tipos de entrenamientos como “*gross-motor training*” (Pesca, 2012), “*designed sports*

training” (Moreau & Conway, 2013), o “*integrative neuromotor training*” (Myer et al., 2015) que combinan demandas físicas, coordinativas y cognitivas. A lo largo de nuestra serie experimental se ha puesto de manifiesto la relación positiva entre el entrenamiento en deportes con estas características y el rendimiento en vigilancia.

5.6.2. Demandas Coordinativas del Ejercicio Físico.

Recientemente, diversos estudios que han investigado la relación entre la condición física y el funcionamiento cognitivo, han empezado a distinguir entre el rol mediador de la condición física cardiovascular (i.e. capacidad aeróbica, resistencia, fuerza,...), y el rol mediador de las habilidades coordinativas (coordinación óculo-manual, equilibrio, agilidad,...) en relación entre ejercicio y cognición (Niemann, Godde, & Voelcker-Rehage, 2014; Voelcker-Rehage et al., 2010; Voelcker-Rehage & Niemann, 2013).

La “hipótesis de la condición física motora” (del inglés “*motor fitness hypothesis*”) sugiere que las actividades que tienen demandas exigentes sobre componentes del aprendizaje motor ayudan a incrementar la condición física motora a través de una mejora en la plasticidad del sistema motor que se manifiesta también positivamente sobre el funcionamiento cognitivo, especialmente en dominios relacionados con la velocidad de procesamiento y el control ejecutivo. Este paradigma propone que el aprendizaje motor es más efectivo en el incremento de la densidad neuronal (sinaptogénesis) y de los vasos sanguíneos (angiogénesis) en regiones cerebrales implicadas en el aprendizaje en comparación con acciones motrices repetitivas simples (e.g. caminar). Esta hipótesis separa la “hipótesis cardiovascular” en dos componentes diferenciados: 1) la capacidad metabólica para llevar a cabo el

ejercicio físico, y 2) las habilidades neuromusculares y motoras implicadas en el ejercicio. Además, sugiere que las demandas coordinativo-motoras y cognitivas requeridas en el aprendizaje motor comparten los mismos substratos y regiones estructurales y funcionales del cerebro como la corteza premotora, la corteza motora suplementaria o el cerebelo (Hardwick, Rottschy, Miall, & Eickhoff, 2013, para meta-análisis).

Es interesante resaltar en este punto dos estudios relacionados con los hallazgos de la presente serie experimental. Por un parte, (Chang et al., 2013) llevaron a cabo un programa de intervención para valorar el impacto de un programa de ejercicio que con alta demanda del componente coordinativo y de dos intensidades diferentes (baja vs. moderada) sobre el funcionamiento cognitivo en niños de 7 años. Los autores mostraron que 2 meses de un entrenamiento que definieron como coordinativo (fútbol), independientemente del nivel de intensidad, tuvo un impacto positivo sobre el rendimiento en la tarea de flancos de Eriksen y en la modulación de la amplitud y latencia del potencial P3. Estos resultados fueron interpretados como indicadores de que el entrenamiento perceptivo-motor que supone la práctica regular de un deporte como el fútbol, puede beneficiar ya en la niñez temprana el control ejecutivo a través de una mejora en la distribución de recursos atencionales y en la habilidad de procesar velozmente estos estímulos.

Por otra parte, Budde, Voelcker-Rehage, Pietraszyk-Kendziorra, Ribeiro, & Tidow (2008) diseñaron un estudio para evaluar los efectos de un entrenamiento coordinativo puntual sobre el rendimiento en una tarea de atención selectiva y control inhibitorio. Para ello, una vez midieron los niveles basales de rendimiento en la tarea atencional, distribuyeron a los adolescentes en dos grupos de entrenamiento diferenciados: un grupo de entrenamiento aeróbico sin apenas requerimientos

coordinativos y un grupo de entrenamiento de habilidades coordinativas bimanuales. Los resultados mostraron un mejor rendimiento en la tarea atencional del grupo sometido al entrenamiento coordinativo puntual, sugiriendo una mejor pre-activación neural en áreas cerebrales responsables del procesamiento atencional. Los hallazgos de ambos estudios, son consistentes con los resultados de nuestra serie experimental, destacando por una parte la relación positiva entre la vigilancia y la práctica de EF que combina demandas físicas, perceptivo-cognitivas y coordinativas, y por otra parte la relevancia de la coordinación motora, que se evidenció en el importante papel predictor que ejerce la coordinación óculo-manual de los participantes en los principales indicadores de rendimiento de la PVT y la tarea *Oddball*.

5.6.3. Demandas Psicosociales y Comportamentales del Ejercicio Físico.

Otro elemento importante a considerar son los beneficios que aporta la práctica regular de ejercicio sobre diferentes variables psicosociales y comportamentales. Recientemente, se ha puesto de manifiesto la importancia de considerar el potencial de diversos deportes y programas deportivos para potenciar el desarrollo emocional y social, además de contribuir a la metacognición (Diamond & Lee, 2011; Tomporowski, McCullick, Pendleton, & Pesce, 2015, para revisiones). La metacognición se refiere a la capacidad de las personas para reflexionar sobre sus procesos de pensamiento y la forma en la que aprenden para así autorregular sus comportamientos (Pesce & Ben-Soussan, 2016). En estudios recientes, diversos autores de reconocido prestigio, han coincidido en apuntar al rol de la metacognición como un mediador importante en la relación entre la práctica regular de ejercicio y la cognición (Pesce & Ben-Soussan, 2016; Tomporowski et al., 2015). De hecho, la práctica regular de ejercicio se ha relacionado positivamente con diferentes capacidades autorreguladoras y otros factores

psicosociales como el autoconcepto, la motivación hacia la tarea, la persistencia y la resistencia a la fatiga física y/o mental, que a su vez están relacionados con el rendimiento cognitivo (Eime, Young, Harvey, Charity, & Payne, 2013b; Etnier, 2008).

En nuestra serie experimental se ha tenido en cuenta la influencia de distintas variables psicológicas en la relación entre práctica deportiva y vigilancia. En el primer Estudio el grupo de futbolistas mostró mayores niveles de motivación hacia la realización de la PVT que el grupo de no deportistas, además, al analizar conjuntamente ambos grupos de participantes (deportistas y no deportistas), sus niveles de motivación mostraron una correlación débil ($r^2 = -.25$) con uno de los principales indicadores de rendimiento (TR promedio) en la tarea de vigilancia. En el segundo Estudio, no se encontraron diferencias al comparar los niveles de impulsividad y el coeficiente de inteligencia de los participantes de los diferentes grupos, sin embargo, aunque la impulsividad no mostró relación directa con el rendimiento en vigilancia, la puntuación compuesta de inteligencia sí que mostró una correlación moderada con el TR promedio ($r^2 = -.39$) y el promedio de lapsos ($r^2 = -.37$) en la PVT. En el estudio 3, además de comparar los niveles de motivación de los diferentes grupos, decidimos añadir una medida de competitividad. Los resultados mostraron una ausencia de diferencia entre los tres grupos, además, estas variables no se encontraron relacionadas con los principales indicadores de rendimiento de la PVT y la tarea *Oddball*.

En su conjunto, los resultados de la presente serie experimental pusieron de manifiesto la ausencia de influencia (e.g. impulsividad o competitividad) o la influencia moderada de diferentes variables psicológicas (motivación e inteligencia), en la relación entre ejercicio y vigilancia durante la niñez y la adolescencia temprana. Sin embargo, cabe resaltar que los diseños experimentales de nuestros estudios no fueron específicamente concebidos para testar la potencial influencia de estas variables sobre el

funcionamiento cognitivo. Además, como han destacado autores de reconocido prestigio en esta temática, estas variables psicológicas podrían manifestar indirectamente su impacto en el rendimiento cognitivo a través de su influencia en otras variables (Etnier, 2008; McMorris, 2015).

Por otro lado, la práctica regular de ejercicio conlleva una serie de hábitos y comportamientos que pueden contribuir a la relación entre ejercicio y cognición. Por ejemplo, la realización habitual de ejercicio físico se ha relacionado positivamente con hábitos alimenticios saludables y patrones de sueño más estables, variables, que a su vez han sido positivamente relacionadas con el rendimiento cognitivo en general (Benloucif et al., 2004; Gomez-Pinilla, 2011; Wu, Ying, & Gomez-Pinilla, 2008) y con la vigilancia o atención sostenida en concreto (Basner & Dinges, 2011; Vaisman et al., 2008).

En definitiva, la asociación entre ejercicio físico regular y funcionamiento cognitivo reportada en la literatura en general, y centrada en la vigilancia en la presente tesis doctoral, es de naturaleza compleja y multifactorial. Las mejoras cognitivas asociadas a la práctica regular de ejercicio pueden estar moduladas por diferentes moderadores y cadenas mediacionales que actúan paralela y/o interrelacionadamente, contribuyendo así a desencadenar los beneficios observados a nivel cognitivo.

En cualquier caso, nuestra serie experimental aporta novedosa evidencia empírica que pone de relevancia que en esta asociación, el entrenamiento deportivo que combina exigencias físicas, coordinativas, perceptivo-cognitivas y emocionales en un entorno de alta participación social, supone un contexto muy estimulante para promover el desarrollo de una función cognitiva clave durante el desarrollo como es la vigilancia.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES GENERALES

6.1. Conclusiones Generales.

Esta tesis doctoral ha profundizado en el estudio de la relación entre la práctica regular de ejercicio físico-deportivo y el funcionamiento en vigilancia en diferentes grupos de edad (niños, adolescentes y jóvenes).

A continuación, describiremos las principales conclusiones derivadas de los resultados obtenidos en la presente serie experimental:

1) Existe una relación positiva entre la práctica regular de ejercicio físico-deportivo y el rendimiento en tareas de vigilancia desde la niñez a la adultez temprana.

2) La práctica regular de deportes con un entorno cambiante y altamente impredecible aporta mayores beneficios sobre el rendimiento en vigilancia (consistencia, velocidad y precisión de respuesta) que la práctica regular de modalidades con un entorno estable.

3) Los beneficios de la condición física cardiovascular sobre el funcionamiento en vigilancia tienen una naturaleza selectiva, puesto que, de todos los indicadores de rendimiento en vigilancia, únicamente se ha constatado una relación con los errores de omisión en una tarea con demandas de control ejecutivo.

4) Las demandas perceptivo-cognitivas de la tarea atencional utilizada modulan la relación entre la práctica regular de ejercicio y la vigilancia, acentuando las diferencias existentes entre practicantes de modalidades deportivas con un entorno cambiante y practicantes de modalidades deportivas con un entorno estable.

5) La motivación, la impulsividad, la inteligencia o la competitividad no se han erigido como variables moduladoras de la relación entre práctica regular de ejercicio y vigilancia.

6) La coordinación óculo-manual de los participantes ha mostrado estar directamente relacionada con indicadores de rendimiento en tareas de vigilancia y control inhibitorio.

En su conjunto, los hallazgos de la presente serie experimental junto con los observados en investigaciones previas, ponen de manifiesto la importancia de que los programas de actividad físico-deportiva que pretendan lograr un desarrollo integral (físico y cognitivo) del participante no se centren únicamente en las características cuantitativas de las actividades planteadas (frecuencia, intensidad, ganancias cardiovasculares,...), sino también en las características cualitativas del ejercicio (demandas perceptivas, cognitivas, coordinativas,...) para maximizar los beneficios cognitivos asociados al EF.

Desde un punto de vista aplicado, un entorno de ejercicio físico-deportivo que combine la existencia de los niveles de exigencia física adecuados para los destinatarios de los programas, junto con las demanda perceptivas, cognitivas y coordinativas necesarias, supondrán un contexto muy estimulante para favorecer el desarrollo cognitivo en general, y de la función de vigilancia en particular, tanto en la población general como en participantes con dificultades en el funcionamiento en vigilancia y el control inhibitorio (practicantes con TDAH, autismo y otros trastornos con alteraciones atencionales).

6.2. General Conclusions.

This doctoral thesis has investigated the relationship between the regular practice of physical exercise and vigilance performance in different age groups (children, adolescents and young adults). Next, we will describe the main conclusions derived from the results obtained in the experimental series:

1) Our results point to a positive relationship between regular sport participation and vigilance performance from childhood to early adulthood.

2) The regular practice of EP sports with a changing and highly unpredictable environment brings greater benefits on vigilance performance (indicators of consistency, processing speed and accuracy), than the regular practice of SP sport modalities.

3) Our findings point to the selective nature of the benefits of cardiovascular fitness in vigilance performance, given that among all the vigilance performance indicators, it has only shown a relationship with an accuracy indicator (omission errors) in a task with high executive control demands.

4) The perceptual-cognitive demands of the attentional task used modulate the relationship between regular exercise and vigilance, accentuating the differences between athletes from different sport types (EP vs. SP).

5) Various psychological variables such as motivation, impulsivity, intelligence or competitiveness have not modulated the relationship between exercise and vigilance in the present experimental series.

6) Participants' hand-eye coordination has shown to be directly related to diverse performance indicators in the PVT and the Oddball task.

Taken together, the findings from the present thesis, together with previous research, point to the importance of not only focusing on the quantitative characteristics (frequency, intensity, gains in cardiovascular fitness condition ...), but also on the qualitative characteristics (perceptual demands, coordination, etc...) of the physical exercise and sporting environments, in order to maximize the cognitive benefits derived from the physical exercise. From an applied point of view, a sporting environment which combines physical, cognitive and coordinative demands may suppose a very stimulating context to enhance cognitive development and vigilance performance in general population and in participants with difficulties in vigilance and inhibitory control such as patients with ADHD or autism.

Referencias Bibliográficas

- Anderson-Hanley, C., Arciero, P. J., Brickman, A. M., Nimon, J. P., Okuma, N., Westen, S. C., ... Zimmerman, E. A. (2012). Exergaming and Older Adult Cognition: A Cluster Randomized Clinical Trial. *American Journal of Preventive Medicine*, 42(2), 109–119.
- Angevaren, M., Aufdemkampe, G., Verhaar, H. J. J., Aleman, A., & Vanhees, L. (2008). Physical activity and enhanced fitness to improve cognitive function in older people without known cognitive impairment. *The Cochrane Database of Systematic Reviews*, (3), CD005381.
- Arito, H., & Oguri, M. (1990). Contingent negative variation and reaction time of physically-trained subjects in simple and discriminative tasks. *Industrial health*, 28(2), 97–106.
- Aubert, A. E., Seps, B., & Beckers, F. (2003). Heart rate variability in athletes. *Sports medicine*, 33(12), 889–919.
- Audiffren, M., & André, N. (2015). The strength model of self-control revisited: Linking acute and chronic effects of exercise on executive functions. *Journal of Sport and Health Science*, 4(1), 30–46.
- Basner, M., & Dinges, D. F. (2011). Maximizing sensitivity of the psychomotor vigilance test (PVT) to sleep loss. *Sleep*, 34(5), 581–591.
- Beijamini, F., Silva, A. G. T., Peixoto, C. A. T., & Louzada, F. M. (2008). Influence of gender on psychomotor vigilance task performance by adolescents. *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*, 41(8), 734–738.

- Benloucif, S., Orbeta, L., Ortiz, R., Janssen, I., Finkel, S. I., Bleiberg, J., & Zee, P. C. (2004). Morning or evening activity improves neuropsychological performance and subjective sleep quality in older adults. *Sleep*, 27(8), 1542–1551.
- 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.
- Biddle, S. J., & Asare, M. (2011). Physical activity and mental health in children and adolescents: a review of reviews. *British journal of sports medicine*, 45, 886–895.
- Blatter, K., Graw, P., Münch, M., Knoblauch, V., Wirz-Justice, A., & Cajochen, C. (2006). Gender and age differences in psychomotor vigilance performance under differential sleep pressure conditions. *Behavioural Brain Research*, 168(2), 313–317.
- Blumenthal, J. A., Emery, C. F., Madden, D. J., Schniebolk, S., Walsh-riddle, M., George, L. K., ... Coleman, R. E. (1991). Long-term Effects of Exercise on Psychological Functioning in Older Men and Women. *Journal of Gerontology*, 46(6), 352–361.
- Bonnefond, A., Doignon-Camus, N., Hoeft, A., & Dufour, A. (2011). Impact of motivation on cognitive control in the context of vigilance lowering: An ERP study. *Brain and Cognition*, 77(3), 464–471.
- Booth, F. W., Chakravarthy, M. V., Gordon, S. E., & Spangenburg, E. E. (2002). Waging war on physical inactivity: using modern molecular ammunition against an ancient enemy. *Journal of Applied Physiology*, 93(1), 3–30.

- Botvinick, M., Braver, T. S., Yeung, N., Ullsperger, M., Carter, C. S., & Cohen, J. D. (2004). Conflict Monitoring: Computational and Empirical Studies. In M. I. Posner (Ed.), *Cognitive neuroscience of attention* (pp. 91-102). New York, NY: Guilford Press.
- Bradley, M. M. (2009). Natural selective attention: Orienting and emotion. *Psychophysiology*, *46*(1), 1–11.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press
- Budde, H., Voelcker-Rehage, C., Pietrasik-Kendziorra, S., Ribeiro, P., & Tidow, G. (2008). Acute coordinative exercise improves attentional performance in adolescents. *Neuroscience letters*, *441*(2), 219–223.
- Bunce, D. (2001). Age differences in vigilance as a function of health-related physical fitness and task demands. *Neuropsychologia*, *39*(8), 787–797.
- Bunce, D. J., Barrowclough, A., & Morris, I. (1996). The moderating influence of physical fitness on age gradients in vigilance and serial choice responding tasks. *Psychology and aging*, *11*(4), 671–682.
- Bunce, D. J., Warr, P. B., & Cochrane, T. (1993). Blocks in choice responding as a function of age and physical fitness. *Psychology and aging*, *8*(1), 26–33.
- Carr, K., Emes, C., & Rogerson, M. (2004). Exercise Testing Protocols for Different Abilities in the Older Population. *Activities, Adaptation & Aging*, *28*(1), 49–66.
- Castillo, A., & Marín, A. (2006). Redes atencionales y sistema visual selectivo. *Universitas Psychologica*, *5*(2), 305–326.

- Cereatti, L., Casella, R., Manganelli, M., & Pesce, C. (2009). Visual attention in adolescents: Facilitating effects of sport expertise and acute physical exercise. *Psychology of Sport and Exercise, 10*(1), 136–145.
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., VanPatter, M., Pontifex, M. B., ... Kramer, A. F. (2012). A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological Psychology, 89*(1), 260–268.
- Chaddock, L., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., & 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.
- Chan, J. S., Wong, A. C., Liu, Y., Yu, J., & Yan, J. H. (2011). Fencing expertise and physical fitness enhance action inhibition. *Psychology of Sport and Exercise, 12*(5), 509–514.
- Chang, Y. K., Labban, J. D., Gapin, J. I., & Etnier, J. L. (2012). The effects of acute exercise on cognitive performance: a meta-analysis. *Brain Research, 1453*, 87–101.
- Chang, Y.-K., Tsai, Y.-J., Chen, T.-T., & Hung, T.-M. (2013). The impacts of coordinative exercise on executive function in kindergarten children: an ERP study. *Experimental Brain Research, 225*(2), 187–196.
- Chodzko-Zajko, W. J., Schuler, P., Solomon, J., Heinl, B., & Ellis, N. R. (1992). The Influence of Physical Fitness on Automatic and Effortful Memory Changes in Aging. *The International Journal of Aging and Human Development, 35*(4), 265–285.

- Chueh, T.-Y., Huang, C.-J., Hsieh, S.-S., Chen, K.-F., Chang, Y.-K., & Hung, T.-M. (2017). Sports training enhances visuo-spatial cognition regardless of open-closed typology. *PeerJ*, 5, e3336. <https://doi.org/10.7717/peerj.3336>
- Colcombe, S. J., Kramer, A. F., Erickson, K. I., Scalf, P., McAuley, E., Cohen, N. J., ... Elavsky, S. (2004). Cardiovascular fitness, cortical plasticity, and aging. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 101(9), 3316–3321.
- Colcombe, S., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14(2), 125–130.
- Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The Reorienting System of the Human Brain: From Environment to Theory of Mind. *Neuron*, 58(3), 306–324.
- Cosi, S., Vigil-Colet, A., Canals, J., & Lorenzo-Seva, U. (2008). Psychometric properties of the Spanish adaptation of the Barratt Impulsiveness Scale-11-A for children. *Psychological Reports*, 103(2), 336–346.
- Coubard, O. A., Duretz, S., Lefebvre, V., Lapalus, P., & Ferrufino, L. (2011). Practice of Contemporary Dance Improves Cognitive Flexibility in Aging. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 3,13. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2011.00013>
- Cox, E. P., O'Dwyer, N., Cook, R., Vetter, M., Cheng, H. L., Rooney, K., & O'Connor, H. (2016). Relationship between physical activity and cognitive function in apparently healthy young to middle-aged adults: A systematic review. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 19(8), 616–628.
- Curlik, D. M., & 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.

- Davenport, M. H., Hogan, D. B., Eskes, G. A., Longman, R. S., & Poulin, M. J. (2012). Cerebrovascular reserve: the link between fitness and cognitive function? *Exercise and sport sciences reviews, 40*(3), 153–158.
- Delis, D. (2001). *Delis–Kaplan executive function system. Examiner’s manual*. San Antonio, Texas: The Psychological Corporation.
- Diamond, A. (2013). Executive Functions. *Annual Review of Psychology, 64*(1), 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., & Lee, K. (2011). Interventions Shown to Aid Executive Function Development in Children 4 to 12 Years Old. *Science, 333*(6045), 959–964.
- Dinges, D., & Powell, J. (1985). Microcomputer analyses of performance on a portable, simple visual RT task during sustained operations. *Behavior Research Methods, 17*(6), 652–655.
- Donnelly, J. E., Hillman, C. H., Castelli, D., Etnier, J. L., Lee, S., Tomporowski, P., ... 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), 1197–1222.
- Drummond, S. P., Bischoff-Grethe, A., Dinges, D. F., Ayalon, L., Mednick, S. C., & Meloy, M. J. (2005). The neural basis of the psychomotor vigilance task. *Sleep, 28*(9), 1059–1068.
- Dustman, R. E., Emmerson, R. Y., Ruhling, R. O., Shearer, D. E., Steinhaus, L. A., Johnson, S. C., ... Shigeoka, J. W. (1990). Age and fitness effects on EEG,

- ERPs, visual sensitivity, and cognition. *Neurobiology of Aging*, 11(3), 193–200.
[https://doi.org/10.1016/0197-4580\(90\)90545-B](https://doi.org/10.1016/0197-4580(90)90545-B)
- Dustman, R. E., Ruhling, R. O., Russell, E. M., Shearer, D. E., Bonekat, H. W., Shigeoka, J. W., ... Bradford, D. C. (1984). Aerobic exercise training and improved neuropsychological function of older individuals. *Neurobiology of Aging*, 5(1), 35–42.
- Eime, R. M., Young, J. A., Harvey, J. T., Charity, M. J., & Payne, W. R. (2013a). A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for adults: informing development of a conceptual model of health through sport. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 10, 135. <https://doi.org/10.1186/1479-5868-10-135>
- Eime, R. M., Young, J. A., Harvey, J. T., Charity, M. J., & Payne, W. R. (2013b). A systematic review of the psychological and social benefits of participation in sport for children and adolescents: informing development of a conceptual model of health through sport. *International Journal of Behavioral Nutrition and Physical Activity*, 10(98), 1.
- Eimer, M. (1993). Spatial cueing, sensory gating and selective response preparation: an ERP study on visuo-spatial orienting. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology/Evoked Potentials Section*, 88(5), 408–420.
- Ericsson, K. A. (2003). Development of elite performance and deliberate practice. In J.L. Starkes, K.A. Ericsson, *Expert performance in sports: Advances in research on sport expertise* (pp. 49–83). Champaign, IL: Human Kinetics

- Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Tesch-Römer, C. (1993). The role of deliberate practice in the acquisition of expert performance. *Psychological review*, *100*(3), 363–403.
- Eriksen, B. A., & 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.
- Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance. *Brain Research Reviews*, *52*(1), 119–130.
- Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P. (1997). The Influence of Physical Fitness and Exercise upon Cognitive Functioning: A Meta-Analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *19*(3), 249–277.
- Etnier, J. L. (2008). Interrelationships of exercise, mediator variables, and cognition. In W. W. Spirduso, L. W. Poon, & W. J. Chodzko-Zajko (Eds.), *Exercise and its mediating effects on cognition* (Vol. 2, pp. 13–30). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Fabre, C., Chamari, K., Mucci, P., Masse-Biron, J., & Prefaut, C. (2002). Improvement of cognitive function by mental and/or individualized aerobic training in healthy elderly subjects. *International journal of sports medicine*, *23*(6), 415–421.
- Fan, J., McCandliss, B. D., Sommer, T., Raz, A., & Posner, M. I. (2002). Testing the efficiency and independence of attentional networks. *Journal of cognitive neuroscience*, *14*(3), 340–347.

- Faubert, J. (2013). Professional athletes have extraordinary skills for rapidly learning complex and neutral dynamic visual scenes. *Scientific Reports*, 3, 1154–1156.
- Funes, M. J., & Lupiáñez, J. (2003). La teoría atencional de Posner: una tarea para medir las funciones atencionales de Orientación, Alerta y Control Cognitivo y la interacción entre ellas. *Psicothema*, 15(2), 260–266.
- Furley, P., & Memmert, D. (2011). Studying cognitive adaptations in the field of sport: Broad or narrow transfer? A comment on Allen, Fioratou, and McGeorge (2011). *Perceptual and motor skills*, 113(2), 481–488.
- Gawande, A. A., Studdert, D. M., Orav, E. J., Brennan, T. A., & Zinner, M. J. (2003). Risk Factors for Retained Instruments and Sponges after Surgery. *New England Journal of Medicine*, 348(3), 229–235.
- Gomez-Pinilla, F. (2011). Collaborative effects of diet and exercise on cognitive enhancement. *Nutrition and health*, 20(3-4), 165–169.
- Guiney, H., & Machado, L. (2013). Benefits of regular aerobic exercise for executive functioning in healthy populations. *Psychonomic Bulletin & Review*, 20(1), 73–86.
- Gunzelmann, G., Moore, L. R., Gluck, K. A., Van Dongen, H. P., & Dinges, D. F. (2010). Fatigue in sustained attention: Generalizing mechanisms for time awake to time on task. In P. L. Ackerman. (Ed), *Cognitive fatigue: Multidisciplinary perspectives on current research and future application* (pp. 83–96). Washington, DC: American Psychological Association
- Hainsworth, R. (1998). Physiology of the cardiac autonomic system. In M. Malik (Ed.), *Clinical guide to cardiac autonomic tests* (pp. 3–28). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers

- Hammami, M. A., Abderrahmane, A. B., Nebigh, A., Moal, E. L., Ounis, O. B., Tabka, Z., & Zouhal, H. (2013). Effects of a soccer season on anthropometric characteristics and physical fitness in elite young soccer players. *Journal of Sports Sciences, 31*(6), 589–596.
- Hardwick, R. M., Rottschy, C., Miall, R. C., & Eickhoff, S. B. (2013). A quantitative meta-analysis and review of motor learning in the human brain. *Neuroimage, 67*, 283–297.
- Helsen, W. F., & Starkes, J. L. (1999). A multidimensional approach to skilled perception and performance in sport. *Applied Cognitive Psychology, 13*(1), 1–27.
- Helton, W. S. (2009). Impulsive responding and the sustained attention to response task. *Journal of Clinical and Experimental Neuropsychology, 31*(1), 39–47.
- Heppe, H., Kohler, A., Fleddermann, M.-T., & Zentgraf, K. (2016). The Relationship between Expertise in Sports, Visuospatial, and Basic Cognitive Skills. *Frontiers in Psychology, 7*, 904. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00904>
- Hillman, C. H., Buck, S. M., Themanson, J. R., Pontifex, M. B., & Castelli, D. M. (2009). Aerobic fitness and cognitive development: Event-related brain potential and task performance indices of executive control in preadolescent children. *Developmental Psychology, 45*(1), 114–129.
- Hillman, C. H., Castelli, D. M., & Buck, S. M. (2005). Aerobic Fitness and Neurocognitive Function in Healthy Preadolescent Children. *Medicine & Science in Sports & Exercise, 37*(11), 1967–1974.

- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58–65.
- Hoeger, W. W., & Hoeger, S. A. (2015). *Principles and labs for fitness and wellness* (13th ed.). Belmont, CA: Wadsworth Cengage Learning.
- Holm, S. (1979). A simple sequentially rejective multiple test procedure. *Scandinavian journal of statistics*, 6, 65–70.
- Huijgen, B. C. H., Leemhuis, S., Kok, N. M., Verburgh, L., Oosterlaan, J., Elferink-Gemser, M. T., & Visscher, C. (2015). Cognitive Functions in Elite and Sub-Elite Youth Soccer Players Aged 13 to 17 Years. *PLoS One*, 10(12), e0144580. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144580>
- Hüttermann, S., & Memmert, D. (2015). The influence of motivational and mood states on visual attention: A quantification of systematic differences and casual changes in subjects' focus of attention. *Cognition and emotion*, 29(3), 471–483.
- Jacobson, J., & 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., & Hillman, C. H. (2003). Expert Performance in Sports: Current Perspective and Critical Issues. In J.L. Starkes & K.A. Ericsson (Eds.), *Expert Performance in Sports: Advances in Research on Sport Expertise* (pp. 19–47). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Jennings, J. R., & Wood, C. C. (1976). The e-adjustment procedure for repeated-measures analyses of variance. *Psychophysiology*, 13, 277–278.

- Kamijo, K., & Takeda, Y. (2010). Regular physical activity improves executive function during task switching in young adults. *International Journal of Psychophysiology*, 75(3), 304–311.
- Kaufman, A. S., & Kaufman, N. L. (1990). *K-BIT: Kaufman Brief Intelligence Test: Manual*. Circle Pines, MN: American Guidance Service.
- Keeley, T. J. H., & Fox, K. R. (2009). The impact of physical activity and fitness on academic achievement and cognitive performance in children. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 2(2), 198–214.
- Khasawneh, A. S., Mousa, A. A., & Atiyat, K. M. (2009). Evaluating Neuro-muscular coordination for hands among physical education students at the Hashemite University. *International Journal of Applied Educational Studies*, 5(1), 62–73.
- Koelega, H. S., Verbaten, M. N., Van Leeuwen, T. H., Kenemans, J. L., Kemner, C., & Sjouw, W. (1992). Time effects on event-related brain potentials and vigilance performance. *Biological psychology*, 34(1), 59–86.
- Kramer, A. F., Hahn, S., Cohen, N. J., Banich, M. T., McAuley, E., Harrison, C. R., ... others. (1999). Ageing, fitness and neurocognitive function. *Nature*, 400(6743), 418–419.
- LaBerge, D. (1995). *Attentional Processing: The Brain's Art of Mindfulness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Lakes, K. D., Bryars, T., Sirisinahal, S., Salim, N., Arastoo, S., Emmerson, N., ... Kang, C. J. (2013). The healthy for life taekwondo pilot study: a preliminary evaluation of effects on executive function and BMI, feasibility, and acceptability. *Mental health and physical activity*, 6(3), 181–188.

- Lees, A. (2003). Science and the major racket sports: a review. *Journal of sports sciences*, 21(9), 707–732.
- Léger, L. A., & Lambert, J. (1982). A maximal multistage 20-m shuttle run test to predict $\dot{V}O_2$ max. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49(1), 1–12.
- Loft, S., Sanderson, P., Neal, A., & Mooij, M. (2007). Modeling and Predicting Mental Workload in En Route Air Traffic Control: Critical Review and Broader Implications. *Human Factors*, 49(3), 376–399.
- Loh, S., Lamond, N., Dorrian, J., Roach, G., & Dawson, D. (2004). The validity of psychomotor vigilance tasks of less than 10-minute duration. *Behavior Research Methods, Instruments, & Computers*, 36(2), 339–346.
- Lum, J., Enns, J. T., & Pratt, J. (2002). Visual orienting in college athletes: Explorations of athlete type and gender. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73(2), 156–167.
- Luque-Casado, A., Perakakis, P., Ciria, L. F., & Sanabria, D. (2016). Transient autonomic responses during sustained attention in high and low fit young adults. *Scientific Reports*, 6. <https://doi.org/10.1038/srep27556>
- Luque-Casado, A., Perakakis, P., Hillman, C. H., Kao, S.-C., Llorens, F., Guerra, P., & Sanabria, D. (2016). Differences in Sustained Attention Capacity as a Function of Aerobic Fitness. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 48(5), 887–895.
- Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013). Cognitive Performance and Heart Rate Variability: The Influence of Fitness Level. *PLoS One*, 8(2). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0056935>

- Mackworth, N. H. (1948). The breakdown of vigilance during prolonged visual search. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 1(1), 6–21.
- Mann, D. T., Williams, A. M., Ward, P., & Janelle, C. M. (2007). Perceptual-cognitive expertise in sport: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(4), 457–478.
- Marteniuk, R. G. (1976). *Information Processing in Motor Skills*. New York, NY: Holt, Rinehart and Winston.
- Matthews, G., & Davies, D. R. (1998). Arousal and vigilance: The role of task demands. In R. R. Hoffman, M. F. Sherrick, & J. S. Warm (Eds.), *Viewing psychology as a whole: The integrative science of William N. Dember* (pp. 113–144). Washington, DC: American Psychological Association.
- McAuley, E., Mullen, S. P., & Hillman, C. H. (2013). Physical Activity, Cardiorespiratory Fitness, and Cognition Across the Lifespan. In P. A. Hall (Ed.), *Social Neuroscience and Public Health* (pp. 235–252). New York, NY: Springer.
- McMorris, T. (2015). *Exercise-Cognition Interaction: Neuroscience Perspectives*. Amsterdam: Academic Press.
- McMorris, T., Tomporowski, P., & Audiffren, M. (2009). *Exercise and Cognitive Function*. Chichester, UK: Wiley-Blackwell.
- Memmert, D. (2009). Pay attention! A review of visual attentional expertise in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 2(2), 119–138.
- Memmert, D., Simons, D. J., & Grimme, T. (2009). The relationship between visual attention and expertise in sports. *Psychology of Sport and Exercise*, 10(1), 146–151.

- Miller, E. K., & Cohen, J. D. (2001). An Integrative Theory of Prefrontal Cortex Function. *Annual Review of Neuroscience*, 24(1), 167–202.
- Monk, T. H. (1989). A visual analogue scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry research*, 27(1), 89–99.
- Monleon, C., Ballester, R., Sanchis, C., Llorens, F., Martín, M., & Pablos, A. (2015). The Effects of Eight-Month Physical Activity Intervention on Vigilance Performance in Adult Obese Population. *Journal of Motor Behavior*, 47(6), 476–482.
- Moreau, D., & Conway, A. R. (2013). Cognitive enhancement: a comparative review of computerized and athletic training programs. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 6(1), 155–183.
- Moreau, D., Morrison, A. B., & Conway, A. R. A. (2015). An ecological approach to cognitive enhancement: complex motor training. *Acta Psychologica*, 157, 44–55.
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Edwards, N. M., Clark, J. F., Best, T. M., & Sallis, R. E. (2015). Sixty minutes of what? A developing brain perspective for activating children with an integrative exercise approach. *British journal of sports medicine*, 49(23), 1510–1516.
- Niemann, C., Godde, B., & Voelcker-Rehage, C. (2014). Not only cardiovascular, but also coordinative exercise increases hippocampal volume in older adults. *Frontiers in Aging Neuroscience*, 6, 170.
<https://doi.org/10.3389/fnagi.2014.00170>
- North, T. C., McCullagh, P., & Tran, Z. V. (1990). Effect of exercise on depression. *Exercise and sport sciences reviews*, 18(1), 379–416.

- Nougier, V., Rossi, B., Alain, C., & Taddei, F. (1996). Evidence of strategic effects in the modulation of orienting of attention. *Ergonomics*, *39*(9), 1119–1133.
- Nougier, V., & Rossi, B. (1999). The development of expertise in the orienting of attention. *International Journal of Sport Psychology*, *30*, 246–260.
- Nougier, V., Stein, J. F., & Bonnel, A.M. (1991). Information processing in sport and "orienting of attention". *International Journal of Sport Psychology*, *22*, 307–327.
- Oken, B. S., Salinsky, M. C., & Elsas, S. M. (2006). Vigilance, alertness, or sustained attention: physiological basis and measurement. *Clinical Neurophysiology*, *117*(9), 1885–1901.
- Oswald, W. D., Gunzelmann, T., Rupperecht, R., & Hagen, B. (2006). Differential effects of single versus combined cognitive and physical training with older adults: the SimA study in a 5-year perspective. *European Journal of Ageing*, *3*(4), 179–192. <https://doi.org/10.1007/s10433-006-0035-z>
- Parasuraman, R., & Davies, D. R. (1984). *Varieties of attention* (Vol. 40). Orlando, FL: Academic Press.
- Patton, J. H., Stanford, M. S., & others. (1995). Factor structure of the Barratt impulsiveness scale. *Journal of clinical psychology*, *51*(6), 768–774.
- Pattyn, N., Neyt, X., Henderickx, D., & Soetens, E. (2008). Psychophysiological investigation of vigilance decrement: boredom or cognitive fatigue? *Physiology & Behavior*, *93*(1), 369–378.
- Pesce, C., & Ben-Soussan, T. D. (2016). Cogito ergo sum' or 'ambulo ergo sum'. In T. McMorris (Ed.), *Exercise-cognition interaction: neuroscience perspectives*. (pp. 251–282). Amsterdam: Elsevier.

- 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., & Audiffren, M. (2011). Does acute exercise switch off switch costs? A study with younger and older athletes. *Journal of Sport & Exercise Psychology, 33*(5), 609–626.
- Pesce, C., & Bösel, R. (2001). Focusing of visuospatial attention: Electrophysiological evidence from subjects with and without attentional expertise. *Journal of Psychophysiology, 15*(4), 256–274.
- Pesce, C., Masci, I., Marchetti, R., Vazou, S., Sääkslahti, A., & Tomporowski, P. D. (2016). Deliberate Play and Preparation Jointly Benefit Motor and Cognitive Development: Mediated and Moderated Effects. *Frontiers in Psychology, 7*, 349. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.00349>
- Pesce, C., Tessitore, A., Casella, R., Pirritano, M., & Capranica, L. (2007). Focusing of visual attention at rest and during physical exercise in soccer players. *Journal of Sports Sciences, 25*(11), 1259–1270.
- Petersen, S. E., & Posner, M. I. (2012). The Attention System of the Human Brain: 20 Years After. *Annual Review of Neuroscience, 35*(1), 73–89.
- Pontifex, M. B., Scudder, M. R., Drollette, E. S., & Hillman, C. H. (2012). Fit and vigilant: The relationship between poorer aerobic fitness and failures in sustained attention during preadolescence. *Neuropsychology, 26*(4), 407–413.
- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly journal of experimental psychology, 32*(1), 3–25.

- Posner, M. I. (2005). Timing the Brain: Mental Chronometry as a Tool in Neuroscience. *PLoS Biology*, 3(2), e51. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.0030051>
- Posner, M. I., & Fan, J. (2008). Attention as an organ system. In J.R. Pomerantz (Ed.), *Topics in integrative neuroscience* (pp. 31–61). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Posner, M. I., Nissen, M. J., & Ogden, W. C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H.L. Pick & I.J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information* (pp. 137–157). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual review of neuroscience*, 13(1), 25–42.
- Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1997). *Images of Mind*. New York, NY: Henry Holt and Company.
- Posner, M. I., Snyder, C. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109(2), 160–174.
- Reilly, T. (2005). An ergonomics model of the soccer training process. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 561–572.
- Remor, E. (2007). Propuesta de un cuestionario breve para la evaluación de la competitividad en el ámbito deportivo: Competitividad-10. *Revista de Psicología del Deporte*, 16(2), 167–183.
- Reynolds, J. H., & Chelazzi, L. (2004). Attentional Modulation of Visual Processing. *Annual Review of Neuroscience*, 27(1), 611–647.

- Robertson, I. H., Manly, T., Andrade, J., Baddeley, B. T., & Yiend, J. (1997). 'Oops!': Performance correlates of everyday attentional failures in traumatic brain injured and normal subjects. *Neuropsychologia*, *35*(6), 747–758.
- Romeas, T., & Faubert, J. (2015). Soccer athletes are superior to non-athletes at perceiving soccer-specific and non-sport specific human biological motion. *Frontiers in Psychology*, *6*, 1343. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01343>
- Ruz, M., & Lupiáñez, J. (2002). A review of attentional capture: On its automaticity and sensitivity to endogenous control. *Psicologica*, *23*(2), 283–309.
- Sanchez-Lopez, J., Fernandez, T., Silva-Pereyra, J., Martinez Mesa, J. A., & Di Russo, F. (2014). Differences in Visuo-Motor Control in Skilled vs. Novice Martial Arts Athletes during Sustained and Transient Attention Tasks: A Motor-Related Cortical Potential Study. *PLoS One*, *9*(3), e91112.
- Sarter, M., Givens, B., & Bruno, J. P. (2001). The cognitive neuroscience of sustained attention: where top-down meets bottom-up. *Brain Research Reviews*, *35*(2), 146–160.
- Schmidt, E. A., Schrauf, M., Simon, M., Fritzsche, M., Buchner, A., & Kincses, W. E. (2009). Drivers' misjudgement of vigilance state during prolonged monotonous daytime driving. *Accident Analysis & Prevention*, *41*(5), 1087–1093.
- Schmidt, M., Jäger, K., Egger, F., Roebers, C. M., & Conzelmann, A. (2015). Cognitively Engaging Chronic Physical Activity, but Not Aerobic Exercise, Affects Executive Functions in Primary School Children: A Group-Randomized Controlled Trial. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, *37*(6), 575–591.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-Prime user's guide*. Pittsburgh, PA: Psychology Software Tools.

- See, J. E., Howe, S. R., Warm, J. S., & Dember, W. N. (1995). *Meta-analysis of the sensitivity decrement in vigilance. Psychological Bulletin, 117*, 230–249.
- Sibley, B. A., & Etnier, J. L. (2003). The relationship between physical activity and cognition in children: a meta-analysis. *Pediatric Exercise Science, 15*(3), 243–256.
- Singer, R. N. (2000). Performance and human factors: considerations about cognition and attention for self-paced and externally-paced events. *Ergonomics, 43*(10), 1661–1680.
- Singh, T. P., Rhodes, J., & Gauvreau, K. (2008). Determinants of heart rate recovery following exercise in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 40*(4), 601–605.
- Smiley-Oyen, A. L., Lowry, K. A., Francois, S. J., Kohut, M. L., & Ekkekakis, P. (2008). Exercise, fitness, and neurocognitive function in older adults: the "selective improvement" and "cardiovascular fitness" hypotheses. *Annals of Behavioral Medicine, 36*(3), 280–291.
- Smith, P. J., Blumenthal, J. A., Hoffman, B. M., Cooper, H., Strauman, T. A., Welsh-Bohmer, K., ... Sherwood, A. (2010). Aerobic Exercise and Neurocognitive Performance: A Meta-Analytic Review of Randomized Controlled Trials: *Psychosomatic Medicine, 72*(3), 239–252.
- Steinmayr, R., Ziegler, M., & Träuble, B. (2010). Do intelligence and sustained attention interact in predicting academic achievement? *Learning and Individual Differences, 20*(1), 14–18.

- Stillman, C. M., Cohen, J., Lehman, M. E., & Erickson, K. I. (2016). Mediators of Physical Activity on Neurocognitive Function: A Review at Multiple Levels of Analysis. *Frontiers in Human Neuroscience, 10*, 626.
- Stroth, S., Reinhardt, R. K., Thöne, J., Hille, K., Schneider, M., Härtel, S., ... Spitzer, M. (2010). Impact of aerobic exercise training on cognitive functions and affect associated to the COMT polymorphism in young adults. *Neurobiology of Learning and Memory, 94*(3), 364–372.
- Taatgen, N. A. (2013). The nature and transfer of cognitive skills. *Psychological Review, 120*(3), 439–471.
- Taddei, F., Bultrini, A., Spinelli, D., & Di Russo, F. (2012). Neural correlates of attentional and executive processing in middle-age fencers. *Medicine and Science in Sports and Exercise, 44*(6), 1057–1066.
- Tomkinson, G. R., Léger, L. A., Olds, T. S., & Cazorla, G. (2003). Secular trends in the performance of children and adolescents (1980–2000). *Sports Medicine, 33*(4), 285–300.
- Tomporowski, P. D., Davis, C. L., Miller, P. H., & Naglieri, J. A. (2008). Exercise and Children's Intelligence, Cognition, and Academic Achievement. *Educational Psychology Review, 20*(2), 111–131.
- Tomporowski, P. D., McCullick, B., Pendleton, D. M., & Pesce, C. (2015). Exercise and children's cognition: The role of exercise characteristics and a place for metacognition. *Journal of Sport and Health Science, 4*(1), 47–55.
- Vaisman, N., Kaysar, N., Zaruk-Adasha, Y., Pelled, D., Brichon, G., Zwingelstein, G., & Bodennec, J. (2008). Correlation between changes in blood fatty acid composition and visual sustained attention performance in children with

- inattention: effect of dietary n-3 fatty acids containing phospholipids. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 87(5), 1170–1180.
- Van Praag, H. (2008). Neurogenesis and exercise: past and future directions. *Neuromolecular Medicine*, 10(2), 128–140.
- Vänttinen, T., Blomqvist, M., Luhtanen, P., & Häkkinen, K. (2010). Effects of age and soccer expertise on general tests of perceptual and motor performance among adolescent soccer players. *Perceptual and Motor Skills*, 110(3), 675–692.
- Vänttinen, Tomi, Blomqvist, M., Nyman, K., & Häkkinen, K. (2011). Changes in body composition, hormonal status, and physical fitness in 11-, 13-, and 15-year-old Finnish regional youth soccer players during a two-year follow-up. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(12), 3342–3351.
- Vaynman, S., Ying, Z., & Gomez-Pinilla, F. (2004). Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *European Journal of Neuroscience*, 20(10), 2580–2590.
- Venker, C. C., Goodwin, J. L., Roe, D. J., Kaemingk, K. L., Mulvaney, S., & Quan, S. (2007). Normative psychomotor vigilance task performance in children ages 6 to 11—the Tucson Children’s Assessment of Sleep Apnea (TuCASA). *Sleep and Breathing*, 11(4), 217–224.
- Verburgh, L., Scherder, E. J. A., Lange, P. A. M. van, & Oosterlaan, J. (2014). Executive Functioning in Highly Talented Soccer Players. *PLoS One*, 9(3), e91254. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0091254>
- Vestberg, T., Gustafson, R., Maurex, L., Ingvar, M., & Petrovic, P. (2012). Executive Functions Predict the Success of Top-Soccer Players. *PLoS One*, 7(4), e34731. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0034731>

- Voelcker-Rehage, C., Godde, B., & Staudinger, U. M. (2010). Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *European Journal of Neuroscience*, *31*(1), 167–176.
- Voelcker-Rehage, C., & Niemann, C. (2013). Structural and functional brain changes related to different types of physical activity across the life span. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, *37*(9), 2268–2295.
- Voss, M. W., Carr, L. J., Clark, R., & Weng, T. (2014). Revenge of the «sit» II: Does lifestyle impact neuronal and cognitive health through distinct mechanisms associated with sedentary behavior and physical activity? *Mental Health and Physical Activity*, *7*(1), 9–24.
- Voss, M. W., Kramer, A. F., Basak, C., Prakash, R. S., & Roberts, B. (2010). Are expert athletes ‘expert’ in the cognitive laboratory? A meta-analytic review of cognition and sport expertise. *Applied Cognitive Psychology*, *24*(6), 812–826.
- Voss, M. W., Nagamatsu, L. S., Liu-Ambrose, T., & Kramer, A. F. (2011). Exercise, brain, and cognition across the life span. *Journal of applied physiology*, *111*(5), 1505–1513.
- Wang, C.-H., Chang, C.-C., Liang, Y.-M., Shih, C.-M., Chiu, W.-S., Tseng, P., ... Juan, C.-H. (2013). Open vs. Closed Skill Sports and the Modulation of Inhibitory Control. *PLoS One*, *8*(2), e55773. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0055773>
- Wang, C.-H., Tsai, C.-L., Tu, K.-C., Muggleton, N. G., Juan, C.-H., & Liang, W.-K. (2015). Modulation of brain oscillations during fundamental visuo-spatial processing: A comparison between female collegiate badminton players and sedentary controls. *Psychology of Sport and Exercise*, *16*, 3, 121–129.

- Ward, P., & Williams, A. M. (2003). Perceptual and cognitive skill development in soccer: The multidimensional nature of expert performance. *Journal of Sport and Exercise Psychology, 25*(1), 93–111.
- Warm, J. S., Parasuraman, R., & Matthews, G. (2008). Vigilance Requires Hard Mental Work and Is Stressful. *Human Factors, 50*(3), 433–441.
- Wiggins, M. W. (2011). Vigilance decrement during a simulated general aviation flight. *Applied Cognitive Psychology, 25*(2), 229-235.
- Wilkinson, R. T., & Houghton, D. (1982). Field Test of Arousal: A Portable Reaction Timer with Data Storage. *Human Factors, 24*(4), 487–493.
- Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. P. (1999). *Visual Perception and Action in Sport*. London, UK: Taylor & Francis.
- Wilson, A., Dollman, J., Lushington, K., & Olds, T. (2010). Reliability of the 5-min psychomotor vigilance task in a primary school classroom setting. *Behavior Research Methods, 42*(3), 754–758.
- Wu, A., Ying, Z., & Gomez-Pinilla, F. (2008). Docosahexaenoic acid dietary supplementation enhances the effects of exercise on synaptic plasticity and cognition. *Neuroscience, 155*(3), 751–759.
- Zani, A., & Rossi, B. (1991). Cognitive psychophysiology as an interface between cognitive and sport psychology. *International Journal of Sport Psychology, 22*, 376–398.
- Zentgraf, K., Heppe, H., & Fleddermann, M.-T. (2017). Training in interactive sports. *German Journal of Exercise and Sport Research, 47*(1), 2–14.

Anexos

Anexo 1. Hoja de Información y Consentimiento Estudio 1.

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de Valencia.

Nombre del Estudio: Práctica deportiva y rendimiento atencional.

Investigador Responsable: Dr. D. Florentino Huertas Olmedo y Dr. D. Carlos Pablos Abella.

Con este documento pretendemos informarle de las características del estudio, para que decida si autoriza a su hijo/a a participar en esta investigación. Le informamos que si su hijo/a no se siente cómodo, puede abandonar el experimento en cualquier momento.

Características y pruebas del estudio. Este estudio tiene por objetivo valorar el efecto que tiene sobre la condición física y el rendimiento atencional la actividad física que realiza su hijo/a de forma habitual. El estudio, que se completará en 2 sesiones de aproximadamente 30 minutos cada una estudio, consta de diversas pruebas:

Prueba atencional: Valoración de la capacidad de su hijo/a para mantener la atención de forma sostenida. Se realiza en el ordenador mediante un programa que registra el tiempo de reacción a estímulos. Se trata de una prueba no invasiva e indolora, que se realiza en 9 minutos y que no tiene ningún tipo de efecto adverso.

Cuestionario de Monk: Son unas preguntas para valorar la calidad del sueño de la noche anterior, la activación y la motivación respecto a la realización de la tarea atencional. Simplemente debe responder con sinceridad marcando la respuesta que más refleje su estado en ese momento.

Test Condición Física de Leger: Es un test físico en el deberá correr adaptando su marcha al ritmo que una señal sonora. Cuando esté cansado y vea que no puede seguir el ritmo debe abandonar la prueba.

Riesgos. Todas las pruebas son breves y no le van a producir ninguna molestia. El único riesgo es una caída o mal gesto durante la prueba física. No obstante, si sigue las pautas de su monitor, este riesgo es muy reducido.

 Consentimiento

Autorizo a mi hijo a participar en el estudio denominado "Práctica deportiva y rendimiento atencional" que lleva a cabo el Dr. D. Florentino Huertas. He tomado esta decisión basándome en la información que se me ha proporcionado por escrito y he tenido la oportunidad de recibir información adicional que he solicitado. Entiendo que puedo retirar este consentimiento en cualquier momento sin recibir una penalización por ello.

Nombre _____ Firma _____

FECHA: _____

Anexo 2. Hoja de Información y Consentimiento Estudio 2.

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de Valencia.

Nombre del Estudio: Práctica deportiva y rendimiento atencional.

Investigador Responsable: Dr. D. Florentino Huertas Olmedo y Dr. D. Carlos Pablos Abella.

Con este documento pretendemos informarle de las características del estudio, para que decida si autoriza a su hijo/a a participar en esta investigación. Le informamos que si su hijo/a no se siente cómodo, puede abandonar el experimento en cualquier momento.

Características y pruebas del estudio. Este estudio tiene por objetivo valorar el efecto que tiene sobre la condición física y el rendimiento atencional la actividad física que realiza su hijo/a de forma habitual. El estudio, que se completará en 2 sesiones de aproximadamente 30 minutos cada una estudio, consta de diversas pruebas:

Prueba atencional: Valoración de la capacidad de su hijo/a para mantener la atención de forma sostenida. Se realiza en el ordenador mediante un programa que registra el tiempo de reacción a estímulos. Se trata de una prueba no invasiva e indolora, que se realiza en dos fases de 9 minutos y que no tiene ningún tipo de efecto adverso.

Cuestionario de Impulsividad Bis-C: Cuestionario adaptado a niños que incluye preguntas breves sobre comportamientos y pensamientos habituales de su hijo/a para estimar su grado de impulsividad.

Cuestionario de Inteligencia K-BIT: Cuestionario adaptado a niños que incluye preguntas para estimar la inteligencia verbal y no verbal de los participantes.

Test Condición Física de Leger: Es un test físico en el que deberá correr adaptando su marcha al ritmo que una señal sonora. Cuando esté cansado y vea que no puede seguir el ritmo debe abandonar la prueba.

Riesgos. Todas las pruebas son breves y no le van a producir ninguna molestia. El único riesgo es una caída o mal gesto durante la prueba física. No obstante, si sigue las pautas de su monitor, este riesgo es muy reducido.

Beneficios. Los datos obtenidos con esta investigación contribuirán a esclarecer la relación entre práctica deportiva sistemática durante la niñez y rendimiento atencional. Además, le proporcionará a usted, información importante sobre su condición física aeróbica y su rendimiento atencional. Al finalizar el estudio se le proporcionará un informe con los resultados obtenidos. Este informe carece de diagnóstico clínico pero sirve para tener en cuenta valores orientativos respecto a su rendimiento en las diferentes pruebas.

Consentimiento

Autorizo a mi hijo a participar en el estudio denominado "Práctica deportiva y rendimiento atencional" que lleva a cabo el Dr. D. Florentino Huertas. He tomado esta decisión basándome en la información que se me ha proporcionado por escrito y he tenido la oportunidad de recibir información adicional que he solicitado. Entiendo que puedo retirar este consentimiento en cualquier momento sin recibir una penalización por ello.

Nombre _____ Firma _____

FECHA: _____

Anexo 3. Hoja de Información y Consentimiento Estudio 3.

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte. Universidad Católica de Valencia.

Nombre del Estudio: Efecto de la práctica deportiva (deportes abiertos vs. deportes cerrados) sobre el rendimiento en tareas de vigilancia

Investigador Responsable: Dr. D. Florentino Huertas Olmedo y Dr. D. Carlos Pablos Abella.

El abajo firmante realizará dos tareas atencionales en ordenador y un test incremental en cicloergómetro. Previamente cumplimentará un test de competitividad y llevará a cabo un test de coordinación óculo-manual.

Si acepta participar en este estudio, ha de saber qué ocurrirá lo siguiente:

- Se llevará a cabo una medición su peso y talla para la estimación del IMC de su composición corporal
- Realizará dos pruebas atencionales en ordenador con una duración aproximada de 9' cada una.
- Se le colocará un pulsómetro para controlar la Frecuencia cardiaco (FC).
- Se colocará en el cicloergómetro adaptado a su antropometría.

En casos excepcionales, como efectos secundarios reversibles derivados de la participación en el protocolo de esfuerzo, podrían aparecer:

- Fatiga, mareos, vómitos...
- Sensación de hiperactivación, nerviosismo e incremento de FC.
- Problemas gastrointestinales.

Síntomas propios de la fatiga suelen desaparecer en las 12 horas siguientes a la finalización de prueba. Si no es así acudir a un centro médico.

Consentimiento

Acepto participar en la prueba en el estudio desarrollado por Dr. D. Florentino Huertas y sus colaboradores. He tomado esta decisión basándome en la información que se me ha proporcionado por escrito y he tenido la oportunidad de recibir información adicional que he solicitado. Entiendo que puedo retirar este consentimiento en cualquier momento sin recibir una penalización por ello.

Nombre _____ Firma _____

FECHA: _____

Anexo 4. Informe de participación.

Estimada familia,

Su hija _____ participó en el estudio realizado por el grupo de investigación "Atención y Control Motor" de la Universidad Católica de Valencia. El objetivo principal del proyecto fue profundizar en el estudio del efecto de la práctica de actividad física regular en la vigilancia en niños de entre 10 y 11 años de edad.

El propósito de esta carta es proporcionarles los resultados individuales obtenidos por _____. No obstante, es importante que tengan en cuenta que los resultados de su hija **únicamente tienen valor informativo** sobre cuál fue la ejecución de su hija en el estudio. En ningún caso los datos que les proporcionamos en esta carta pueden considerarse como indicativos de las capacidades intelectuales de su hija o de otro tipo ya que las **tareas que se utilizaron en el estudio no tienen valor diagnóstico**.

En el estudio se obtuvieron datos de diferentes aspectos del comportamiento o capacidades cognitivas de _____, los cuales se detallan a continuación:

1. ATENCIÓN SOSTENIDA

Para examinar la capacidad de atención sostenida de los niños que participaron en el estudio, se realizó una tarea en la que se debía responder a un estímulo que aparecía de forma aleatoria lo más rápido posible, usando para ello la tecla espacio de un teclado de ordenador. En esta tarea se registró el tiempo de reacción (TR) y el número de veces que el participante responde muy lentamente (lapsos). En términos generales, cuando menor se considera el tiempo de reacción a estímulos durante la prueba, mejor se considerará su vigilancia, al igual que el hecho de que consiga mantener una buena ejecución a lo largo de la tarea y responder con precisión a todos los estímulos.

El TR medio de _____ fue de **389ms** (milisegundos) y el número medio de lapsos registrados fue de **6.5**. Los valores referentes a TR y lapsos son **muy positivos** respecto a la media del resto de participantes.

2. INTELIGENCIA

Para la evaluación de la inteligencia se utilizó el test breve de inteligencia K-BIT, cuyo objetivo es medir la inteligencia verbal y no verbal.

La puntuación de _____ en el índice de inteligencia global fue de **222**. Esta puntuación se encuentra en el centil **75**, lo cual indica la posición que su hija ocupa en una escala de 1 a 100, siendo 50 el valor medio para su grupo de edad. Por tanto la media de su hija está considerada como **media-alta** para su edad.

3. IMPULSIVIDAD

La impulsividad se evaluó con el test BIS-11c, que se trata de un cuestionario que mide impulsividad a través de 3 subescalas que son impulsividad cognitiva (atención), impulsividad motora y la impulsividad no planeada. Mayor puntuación en el test significa mayor impulsividad estimada por el cuestionario. La puntuación en impulsividad total de su hija fue de **24**. Esta puntuación es ligeramente **inferior** respecto a la media del resto de participantes.

4. POTENCIA AERÓBICA MÁXIMA

Para evaluar la forma física de los niños se utilizó el test Leger Multi-stage Fitness o Course de Navette, un test de resistencia cardiorrespiratoria en el que se registra la potencia aeróbica máxima. Se registró el tiempo (segundos) en que los niños eran capaces de seguir el ritmo marcado por el test. La puntuación de _____ en esta prueba fue de **415s**. Esta puntuación es **muy positiva** respecto a la media del resto de participantes.

Esperamos que consideren esta información de interés. Le reiteramos nuestro agradecimiento por su colaboración en este estudio que sin duda nos ayuda a entender el desarrollo de la capacidad de vigilancia y el efecto del entrenamiento en habilidades físicas y cognitivas durante la niñez. Esperamos, además contar con su colaboración en futuras investigaciones.

Si desean comentar o conocer algún otro aspecto relacionado con su participación en el estudio pueden ponerse en contacto con el investigador principal del estudio **Florentino Huertas** a través de su mail: florentino.huertas@ucv.es, o su teléfono: 96363741- Ext 4803.

Reciban un cordial saludo.

Anexo 5. Divulgación en prensa resultados estudio 1.

Los jóvenes que juegan al fútbol tienen mejor nivel de atención

Diario MARCA, jueves, 30 abril 2015, 11:19

Jugar al fútbol durante la adolescencia está positivamente relacionado con la capacidad de mantener la atención de forma sostenida. Así lo indica una investigación realizada por la Universidad de Granada.

En este trabajo, en el que colaboró la Universidad Católica de Valencia, participaron 75 adolescentes de ambos géneros. La mitad eran futbolistas pertenecientes al Levante UD y la otra mitad eran estudiantes del Centro de Educación Infantil y Primaria (CEIP) El Moli de Torrent (Valencia) que no practicaban deporte habitualmente.

A todos ellos se les aplicó un test para determinar su condición física aeróbica, así como diferentes cuestionarios. Además, llevaron a cabo una tarea atencional diseñada específicamente para evaluar la vigilancia o atención sostenida.

Los resultados mostraron que los participantes futbolistas presentaban una mejor condición física aeróbica que los no futbolistas. Otro dato importante que reflejaron los análisis fue que no se observó una correlación significativa entre la forma física cardiovascular y los tiempos de reacción en la tarea cognitiva: "Este último dato va en contra de la idea generalizada de que la práctica deportiva incide en la atención a través de la mejora cardiovascular, como sugieren algunos investigadores", apuntó Sanabria.

Los investigadores señalaron otros factores que podrían explicar las diferencias encontradas a nivel de atención, como pueden ser las mejores habilidades perceptivo-motoras de los futbolistas con respecto a los escolares que no practicaban deporte:

"Es necesario advertir que hay que seguir investigando para indagar en la relación entre la práctica deportiva y la atención, así como establecer de forma más clara los factores más importantes implicados en esta asociación".

Según investigaciones previas, entre los numerosos beneficios que reporta la práctica regular de actividad física, destaca una mejora del tono vagal (funcionamiento más eficiente del sistema nervioso autónomo; mayor variabilidad de la frecuencia cardíaca), e incluso parece estar relacionada con adaptaciones estructurales y funcionales sobre el sistema nervioso central. Un ejemplo es que el ejercicio físico previene la neurodegeneración, promueve la neurogénesis y el crecimiento de capilares sanguíneos en zonas como hipocampo, córtex, cerebelo y ganglios de la base.

Noticia completa: <http://www.marca.com/blogs/espanasemueve/2015/04/30/los-jovenes-que-juegan-al-futbol-tienen.html>

Anexo 6. Divulgación en prensa resultados estudio 2.

Una investigación demuestra que los niños que juegan al fútbol mantienen mejor la atención

El trabajo de la Universidad Católica de Valencia revela que la práctica habitual de este deporte mejora la velocidad de procesamiento de estímulos

ABC Valencia 15/06/2017

11:22h - Actualizado: 15/06/2017 11:27h.



Imagen de los investigadores que han liderado el estudio - ABC

Los profesores e investigadores de la Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la **Universidad Católica de Valencia (UCV)**, Florentino Huertas y Rafael Ballester, en colaboración con Daniel Sanabria y Enrique Molina del Centro de Investigación Mente, Cerebro y Comportamiento (CIMCYC) de la Universidad de Granada, han constatado que la **práctica regular de un deporte abierto** y con un entorno cambiante como el fútbol durante la niñez está "relacionada positivamente con el rendimiento en tareas de mantenimiento de la atención en el tiempo, vigilancia y la velocidad de procesamiento de estímulos".

Esta investigación es parte de una serie de estudios experimentales desarrollados por el investigador **Rafael Ballester** dentro del programa de doctorado de Ciencias de la Salud de la UCV, y en él participaron niños de 11 años de ambos géneros, divididos en tres grupos de participantes: futbolistas procedentes del Levante UD y del Valencia CF Femenino, atletas procedentes del Club de Atletismo Torrent y estudiantes del CEIP "El Molí" de Torrent sin práctica deportiva habitual.

A todos ellos **se les aplicó un test para determinar su condición física aeróbica**, así como una prueba de inteligencia y un cuestionario de impulsividad. Además, los participantes realizaron una tarea atencional diseñada específicamente para evaluar la vigilancia en diferentes condiciones de presión temporal en la respuesta a estímulos.

Los resultados mostraron que ambos grupos de deportistas presentaban una mejor condición física aeróbica que el grupo de no deportistas. Sin embargo, en el caso

de los deportistas procedentes de un deporte con un entorno cerrado y estable, como los atletas, los mayores niveles de condición física no estuvieron asociados a un mejor rendimiento en vigilancia al compararse con el grupo de no deportistas. "Estos datos *parecen demostrar que la práctica de cualquier tipo de actividad física regular*, aunque pueda incidir positivamente sobre la condición física de los participantes, no siempre parece tener beneficios sobre el desarrollo cognitivo", han destacado los autores.

Sin embargo, y como aspecto más destacable del presente estudio, el grupo de deportistas procedentes de un deporte con un entorno abierto y cambiante, caso de los futbolistas, mostraron un mejor rendimiento en la tarea de vigilancia que los niños no deportistas. Este hecho "**denota una mejor habilidad para mantener la atención en el tiempo** y puede estar relacionado con los requerimientos a los que se ven expuestos en el entrenamiento y la competición estos deportistas, en lo que respecta al procesamiento y respuesta rápida a estímulos que aparecen en un entorno altamente impredecible", ha detallado Ballester.

Además, los autores de esta investigación señalan otros factores que podrían explicar las diferencias encontradas a nivel de atención, como pueden ser las **habilidades perceptivo-motoras o los hábitos de disciplina y esfuerzo** que se adquieren con la práctica regular de deporte.

"En su conjunto, los hallazgos de esta investigación junto con investigaciones previas, **deben alentar a las instituciones a implementar medidas para promover la práctica deportiva** regular durante la niñez, especialmente mediante actividades que impliquen una alta demanda de recursos perceptivos y donde haya que tomar decisiones de una forma rápida", ha expresado Huertas.

El trabajo titulado "*Sport participation and vigilance in children: Influence of different sport expertise*" ([disponible en este enlace](#)), ha sido publicado recientemente en la prestigiosa revista Journal of Sport and Health Science, indexada en el Q1 del Journal Citation Reports JCR).

Desde el año 2007, varios investigadores de la **Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte** de la Universidad Católica de Valencia, dirigidos por el Florentino Huertas, han colaborado con los grupos de Neurociencia Cognitiva y el Grupo de investigación Neuroergonomía de la Universidad de Granada, así como con el CEAR de ciclismo en pista, y otras entidades deportivas (Valencia CF SAD, Levante UD, Villarreal CF, Valencia Basket) en el desarrollo y publicación de distintos trabajos de investigación en los que se han analizado las relaciones entre diferentes manifestaciones de la actividad física, el deporte y diferentes tipos de esfuerzo sobre el funcionamiento cognitivo, y más concretamente sobre diferentes funciones atencionales.

Noticia completa: http://www.abc.es/espana/comunidad-valenciana/abci-investigacion-demuestra-ninos-juegan-futbol-mantienen-mejor-atencion-201706151122_noticia.html