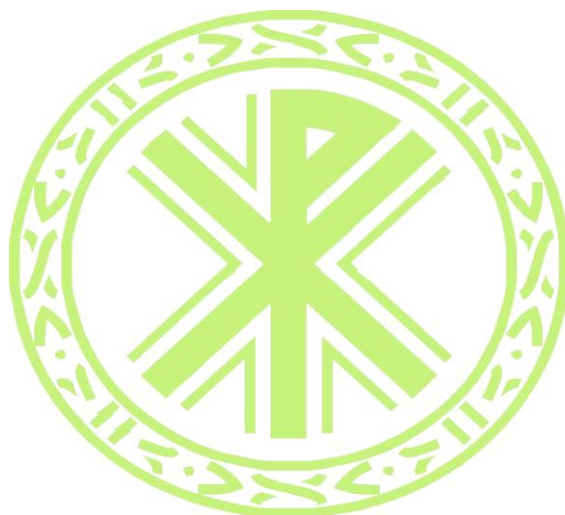


UNIVERSIDAD CATÓLICA DE VALENCIA

SAN VICENTE MÁRTIR

Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte



ESFUERZO FÍSICO PUNTUAL Y ORIENTACIÓN ESPACIAL

EXÓGENA

(Acute intense physical effort and exogenous spatial attention)

TESIS DOCTORAL

Presentada por:

D. Francesc Llorens Martínez

Dirigida por:

Dr. D. Florentino Huertas Olmedo

Dr. D. Daniel Sanabria Lucena

Valencia, 2014

Dr. D. Florentino Huertas Olmedo, Profesor de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte de la Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir.

Dr. D. Daniel Sanabria Lucena, Profesor de Psicología Experimental de la Universidad de Granada.

CERTIFICAN:

Que la presente tesis doctoral titulada **ESFUERZO FÍSICO PUNTUAL Y ORIENTACIÓN ESPACIAL EXÓGENA** (*“Acute intense physical effort and exogenous spatial attention”*) ha sido realizada por D. Francesc Llorens Martínez bajo nuestra dirección, en el Programa de Doctorado de “Investigación y Desarrollo” 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 20 de enero de 2014.



Dr. D. Florentino Huertas Olmedo



Dr. D. Daniel Sanabria Lucena

Agradecimientos

Una vez finalizado mi primer viaje en el mundo de la investigación, me gustaría recordar y con ello agradecer a todas la personas que con su apoyo y ayuda han hecho posible que esta tesis doctoral vea por fin la luz.

En primer lugar a mis directores Florentino Huertas Olmedo y Daniel Sanabria Lucena, por guiarme y aconsejarme, por el gran esfuerzo realizado y tiempo dedicado en este largo camino, que sin dudas a sobrepasado mis mejores expectativas. No sé cómo os agradeceré todo lo que me habéis enseñado y aportado. Encantado de haber recorrido este camino juntos.

A toda la familia que forma parte del Departamento de Psicología Experimental de la Universidad de Granada, por esas tertulias al final de la tarde, por los innumerables cafés y sobre todo por hacerme sentir como en casa en mi larga estancia en Granada. Gracias.

No puedo olvidarme de toda la gente que formamos parte de la línea de investigación “Atención y Control Motor” de la Universidad Católica de Valencia “San Vicente Mártir”, por ser primero compañeros, y espero que para siempre amigos.

A Simon Bennett, por darme la oportunidad de formar parte de tu grupo de trabajo y por el tiempo que me has dedicado incluso sin llegar a conocerme. A James Roberts por hacer mi estancia en Liverpool algo más sencilla.

A Ana, por estar siempre que te he necesitado y sobre todo en los momentos más difíciles, levantarme una y otra vez y por hacer este camino mucho más ameno. Gracias.

Por último y sin ser menos importante, a mí familia en general y a mi madre, padre y hermano en particular, por escucharme y entenderme y por ser el principal pilar

de apoyo. Gracias por vuestra ayuda, apoyo y ánimo en toda mi vida académica, ya que sin ello, hubiera sido mucho más difícil lograr los objetivos hasta ahora conseguidos.

Publicación de la tesis doctoral

Llorens, F., Sanabria, D., & Huertas, F. (Revisions Being Processed). The influence of acute intense exercise on exogenous spatial attention depends on physical fitness level. *Experimental Psychology* (ver Anexo 1).

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS.....	15
ÍNDICE DE TABLAS.....	17
ÍNDICE DE FIGURAS.....	21
ÍNDICE ABREVIATURAS.....	27
I. INTRODUCCIÓN.....	31
1.1. Prefacio.....	33
II. MARCO TEÓRICO.....	37
2.1. Variables que afectan al rendimiento deportivo.....	39
2.2. La atención.....	43
2.2.1. Breve conceptualización y evolución histórica.....	44
2.2.2. Conceptualización actual de la atención.....	47
2.2.2.1. Teorías atencionales.....	47
2.2.2.1.1. Modelo de competición sesgada (Desimone y Duncan, 1995).....	47
2.2.2.1.2. Modelo de Corbetta y Shulman (2002).....	48
2.2.2.1.3. Teoría Atencional de Posner (Posner y Petersen, 1990).....	50
2.3. Orientación atencional.....	53
2.3.1. Orientación Atencional Temporal.....	54
2.3.2. Orientación Atencional Espacial.....	55
2.3.3. Paradigma de Costes y Beneficios.....	57
2.4. Ejercicio físico y funcionamiento cognitivo.....	64

2.4.1. Cambios fisiológicos inducidos por la realización de un esfuerzo físico puntual.....	65
2.4.2. Esfuerzo físico puntual y funcionamiento cognitivo.....	67
2.4.3. Esfuerzo físico puntual y funcionamiento atencional.....	70
2.4.4. Funcionamiento atencional tras la realización de un esfuerzo físico puntual.....	71
2.5. Esfuerzo físico puntual y orientación atencional espacial.....	76
2.5.1. Esfuerzo físico puntual y orientación espacial endógena.....	77
2.5.2. Esfuerzo físico puntual y orientación espacial exógena.....	79
III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	81
3.1. Objetivos e Hipótesis.....	83
IV. EXPERIMENTAL SERIES.....	85
Introduction.....	87
Experiment 1: Effect of short bout of intense effort on exogenous spatial attention.....	91
Experiment 2: Effects of different intensities of exercise on exogenous spatial attention.....	103
Experiment 3: Physical fitness level mediates the relationship between exogenous spatial attention and acute intense exercise.....	115
Experiment 4: Visual search, intense exercise and physical fitness level.....	127
V. DISCUSIÓN GENERAL.....	139
5.1. Discusión general.....	141

5.2. Efectos de un esfuerzo físico puntual sobre la orientación atencional espacial.....	145
5.3. Efectos de la condición física de los participantes sobre la orientación espacial exógena tras realizar un esfuerzo físico puntual.....	148
5.4. Efectos del esfuerzo físico puntual sobre el procesamiento de la señal y el objetivo.....	155
5.4.1. Procesamiento de la señal y el objetivo	155
5.4.2. Esfuerzo físico puntual y carga perceptiva.....	156
VI. CONCLUSIONES FINALES.....	163
VII. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN.....	167
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	173
ANEXOS.....	195

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

ÍNDICE DE TABLAS

Table 1: Mean and standard deviation of the physiological characteristics of participants in the three Sessions. Note: Mean HR (bpm), HR when participants' started the attentional task.....	98
Table 2: Mean RT and standard error (ms) and percentage of errors (between parentheses) as a function of Session (post-effort, rest and after recovery), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued).....	99
Table 3: Mean and standard deviation of the physiological characteristics of participants at AT and in the three Sessions. Note: Mean HR (bpm), HR when participants' started the attentional task.....	107
Table 4: Mean RT and standard error (ms) and percentage of errors (between parentheses) as a function of Session (moderate aerobic, intense aerobic and rest), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued).....	108
Table 5: Physiological characteristics of the sample.....	118
Table 6: Mean RT and standard error (ms) and percentage of errors (between parentheses) as a function of Group (high-fit, low-fit), Session (post-effort, rest), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued).....	119
Table 7: Means and Standard Deviations (DS) for the Motivation, Competitiveness and Monk Scales Data (1-100) in High and Low-fit Groups.....	124
Table 8: Mean and standard deviation of the physiological characteristics of participants obtained in the submaximal exercise test and in the two Sessions. Note: Mean HR (bpm), Mean HR when participants' started the attentional task.....	132
Table 9: Mean saccades' RT and standard error (ms) as a function of Session (post-effort, rest), and New object (present, absent).....	133

Table 10: Mean response RT and standard error (ms) as a function of Session (post-effort, rest), and New object (present, absent).....	135
--	-----

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Modelo de la estructura del rendimiento. Modificado de Martin (1980).....	41
Figura 2: Modelo de la estructura del rendimiento. Adaptado de Ehlenz et al. (1985)...	41
Figura 3: Estructuras del rendimiento deportivo. Modificado de Seirullo, (2001).....	42
Figura 4: Esquema del modelo de Broadbent. Adaptado de Broadbent (1958).....	44
Figura 5: Esquema del modelo de Deutsch y Deutsch. Adaptado de Deutsch y Deutsch (1963).....	45
Figura 6: Esquema del modelo de Kahneman. Adaptado de Kahneman (1973).....	46
Figura 7: Modelo neuroanatómico del modelo atencional de Corbetta y Shulman (2002). Modificado de Corbetta y Shulman (2002). En rojo Red Frontoparietal Dorsal y en Verde Red Frontoparietal ventral.....	49
Figura 8: Las tres redes atencionales. Modificado de Posner y Petersen (1990).....	50
Figura 9: Representación gráfica de los dos niveles de la variable conflicto o control ejecutivo del paradigma inicial de Posner y Petersen (1990). “X” = botón derecho y “O” = botón izquierdo.....	51
Figura 10: Representación gráfica de los dos niveles de la variable de orientación del paradigma inicial de Posner y Petersen (1990).....	53
Figura 11: Tarea atencional basada en el Paradigma de Costes y Beneficios. Modificada de Posner y Cohen (1984). Nota: El color rojo indica la caja derecha como la posible localización del estímulo objetivo y el color verde la caja izquierda.....	58
Figura 12: Coste, Beneficio y Efecto Atencional en el Paradigma de Costes y Beneficios (Posner y Cohen, 1984).	60
Figura 13: Efectos de Facilitación en SOA corto (100 ms) e Inhibición de Retorno en SOA largo (1000 ms).....	61

Figura 14: Relación entre TR y la excitación del sistema nervioso central a un ejercicio puntual (Modificado de Chmura, Nazar y Kaciuba-Uscilko 1994).....	69
Figura 15: Tarea atencional empleada por Pesce et al. (2002) para medir la reorientación atencional.....	78
Figure 16: Set up to perform the effort used in the Experiment 1. 1) Cycle ergometer PC. 2) Weather Station. 3) Ventilation System. 4) Cycle ergometer Cardgirus Medical.....	94
Figure 17: Set up to perform the attentional task used in the Experiment 1.....	95
Figure 18: Schematic view the exogenous spatial attention task used in the present study.....	96
Figure 19: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000). * $p < .05$	101
Figure 20: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000). * $p < .05$	110
Figure 21: Correlation between the facilitation effect at the 100 ms SOA in the post-effort condition with the individual relative power output at AT in Experiment 1 ($W \cdot Kg^{-1}$).....	112
Figure 22: Photo of the set up used in the Experiment 1. 1) Cycle ergometer PC. 2) Weather Station. 3) JAEGER Master Screen gas analyser. 4) Cycle ergometer Cardgirus Medical. 5) Ventilation system.....	117
Figure 23: Mean RT and standard error (ms) at Time-on-task. * $p < .05$	120
Figure 24: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000). * $p < .05$	121

Figure 25: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000) in post-effort session between groups (high-fit, low-fit). * $p < .05$	122
Figure 26: Correlation between the facilitation effect at the 100 ms SOA (in post-effort session in Experiment 1, intense aerobic session in Experiment 2 and in post-effort session in Experiment 3) and the individual relative power output at AT in Experiments 1, 2 and 3 ($W \cdot Kg^{-1}$).....	123
Figure 27: Schematic view of the visual search task used in Experiment 4 (extracted to Theeuwes et al.'s, 1998). Note that the target was presented simultaneously with the appearance of the distracting new object. The gray circles are indicated by the dashed lines and the red circles indicated by the solid lines.....	131
Figure 28: Goal-directed saccade toward the target means RT and standard error (ms) between New Object Present and New Object Absent trials at each Session (post-effort, rest). * $p < .05$	134
Figure 29: Mean RT and standard error (ms) between New Object Present and New Object Absent trials at each Session (post-effort, rest). * $p < .05$	136

ÍNDICE DE ABREVIATURAS

- **ANOVA:** Análisis de varianza o “Analysis of variance.
- **ANT:** Attention Network Test.
- **ANT-I:** Attention Network Test-Interaction.
- **AT:** “Anaerobic threshold”.
- **ATP:** Adenosin trifosfato.
- **bpm:** “beats per minute”.
- **CNS:** “Central Nervous System”.
- **CO₂:** Producción de dioxide de carbono o “Carbon dioxide production”.
- **EEG:** Electroencefalogramas.
- **FC:** Frecuencia cardíaca.
- **fMRI en inglés:** Imagen por resonancia magnética funcional o “Functional magnetic resonance imaging.
- **HR:** “Heart rate”.
- **IR o IOR en inglés:** Inhibición de retorno o “Inhibition of return”.
- **M:** “Mean”
- **Minutos o “minutes” en ingles:** ‘
- **ms o ms en inglés:** Milisegundos o “Milliseconds”.
- **PaCO₂:** Presión arterial de dióxido de carbono.
- **ppm:** Pulsaciones por minuto.
- **RER:** “Respiratory gas-exchange”.
- **RT:** “Reaction Time”.

- **SD:** “Standard Deviation”.
- **Segundos o “seconds” en inglés:** ‘’
- **SNC:** Sistema nervioso central.
- **SOA:** “Stimulus Onset Asynchrony”.
- **TR:** Tiempo de reacción.
- **UA:** Umbral anaeróbico.
- **UV:** Umbral ventilatorio.
- **VO₂:** Consumo de oxígeno.
- **VO₂max:** Consumo máximo de oxígeno o “maximum oxygen uptake”.
- **VT:** “Ventilatory threshold”.
- **W:** Vatios o “Watts”.

I. INTRODUCCIÓN

1.1.- Prefacio

Nada más salir a la calle una gran cantidad de estímulos de diferente naturaleza (sonoros, visuales,...) “atacan” nuestro sistema sensorial. Sólo tenemos que ir un día de compras y ver o escuchar a la gente, vehículos, semáforos, sirenas de ambulancias, etc., que de una u otra manera atraen nuestra atención. Este bombardeo estimular, no solo se observa al salir a la calle, sino que prácticamente en cualquier contexto deportivo, el deportista se desenvuelve en un entorno caracterizado por la presencia de un gran número de estímulos dinámicos y cambiantes, como por ejemplo en un partido de baloncesto, movimiento de jugadores, posición del balón, el público, etc. Pero ¿atendemos a todos los estímulos que nos llegan a través de los sentidos? Debido a la gran cantidad de estímulos que recibimos, en principio parece que sería imposible. Entonces, ¿a qué estímulos atendemos y cuáles obviarnos? ¿Cómo elegimos aquellos estímulos que realmente queremos atender y procesar?

Día tras día, mientras veo en la televisión las noticias deportivas y los argumentos aportados por los periodistas, técnicos o preparadores físicos para justificar el aumento o disminución del rendimiento de un jugador determinado, voy observando que tan solo se habla del estado físico de jugadores, lesiones musculares o la cantidad de partidos disputados. Sin embargo, en contadas ocasiones se hace referencia a los aspectos cognitivos o de toma de decisión, factores que repercuten directamente en el rendimiento deportivo. ¿Por qué?, ¿qué éxito puede tener un jugador que corre mucho y no se cansa nunca, si corre, pasa, o presiona al contrario a destiempo? Probablemente su potencial de rendimiento individual y colectivo esté bastante limitado.

Con las evidencias que existen hoy en día podemos afirmar que para que un deportista alcance su máximo nivel de rendimiento, sobre todo en los deportes

colectivos, de combate y/o cancha dividida, este ha de desarrollar tanto el nivel físico, técnico-táctico, como el cognitivo. Así, el saber cuándo y cómo actuar ante una situación comprometida lo más rápidamente posible, dará al deportista más posibilidades de conseguir un resultado satisfactorio en base a los estímulos relevantes atendidos y a la situación de juego en la que se encuentre inmerso.

Otra cuestión que ha motivado que me introdujera en esta línea de investigación es mi interés en conocer cómo afectan los esfuerzos físicos al funcionamiento cognitivo, ¿el sistema cognitivo de un deportista funciona igual al principio y al final de un partido? ¿el nivel de activación y/o la fatiga del deportista podrán de algún modo modular dicho funcionamiento? Teniendo en cuenta que generalmente los partidos se deciden en los momentos finales, cuando el deportista ha realizado numerosos esfuerzos físicos, es de vital importancia conocer el funcionamiento cognitivo en situaciones de fatiga. En base a este conocimiento sería posible optimizar los procesos de entrenamiento gracias al diseño de herramientas y/o protocolos que nos permitan medir estas variables y mejorar los procesos de detección talentos. Del mismo modo, el conocimiento de esta relación entre fatiga y funcionamiento cognitivo nos ayudaría a intervenir sobre aquellos deportistas con déficit en alguna de las funciones estudiadas, y así mejorar su rendimiento.

Con lo anteriormente indicado creemos necesario para el desarrollo del conocimiento en el ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y Deporte, el estudio acerca de cómo los procesos cognitivos en general y los atencionales en particular, condicionantes de la respuesta del deportista y con ello el rendimiento, se ven afectados por la realización de esfuerzos físicos.

La tesis doctoral que se presenta a continuación, desarrollada en un contexto de laboratorio donde las variables están muy controladas, tiene como objetivo primario

obtener nuevos conocimientos sobre cómo actúan diferentes mecanismos atencionales en el procesamiento de la información visual ante diferentes condiciones de esfuerzo físico.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Variables que afectan al rendimiento deportivo.

Cuántas veces hemos oído en una cancha de baloncesto o en un campo de fútbol a un entrenador gritar todo tipo de improperios a ese joven jugador/a que no ha cogido el rebote, que no ha recibido correctamente el pase de un compañero o que en repetidas ocasiones comete pasos. Esta situación se repite día tras día en los entrenamientos y/o competiciones deportivas, siendo la repetición sistemática de ese gesto o acción fallida de forma aislada hasta el aburrimiento la solución más utilizada por parte de entrenadores y preparadores físicos.

Entrenadores y preparadores físicos suelen apoyarse en la creencia de que el deportista más exitoso es aquel que mejor técnica o condición física posee (Viru y Viru, 2003). Así, la mayoría de las investigaciones desarrolladas en el ámbito de las Ciencias de la Actividad Física y el Deporte en relación a las diferentes variables que pueden afectar directamente al rendimiento del deportista, generalmente se han centrado en aquellas que repercuten directamente en la ejecución motora o gesto técnico final (Valenciano, 2007).

Esta concepción ha ido cambiando con el paso de los años debido a la creciente cantidad de estudios e investigaciones que han demostrado la existencia de una gran variedad de variables moduladoras de la “*performance*”, siendo la interacción adecuada entre ellas lo que determinará la optimización del rendimiento deportivo (e.g., Nitsch, Neumaier, Marées y Mester, 2002).

La naturaleza de las situaciones que se dan en multitud de modalidades deportivas, principalmente en las de invasión y/o cancha dividida, es muy cambiante, resultado del gran número de estímulos que interactúan entre sí (Hernández Moreno, 1994). Debido a la gran cantidad de estímulos que procesa un jugador durante una

competición (posiciones de compañeros, velocidad del pase, rivales), este, además de poseer una buena capacidad física para mantener esfuerzos, realizar acciones rápidas, etc., debe estar preparado para leer y procesar cada situación de juego y poder generar una respuesta idónea que permita resolver el problema motor que se plantea (Weinberg y Gould, 1995). Dicho de otro modo, en muchas situaciones deportivas las variables sensoriales, perceptivas y cognitivas tienen una relevancia fundamental en el futuro rendimiento del deportista (Hohmann, Lames y Letzelter, 2005).

Uno de los primeros modelos explicativos del proceso percepción-acción (Martin, 1980), contemplaba la relevancia de los principales factores moduladores del rendimiento deportivo, relacionando aspectos referidos a la condición física, con otros como la inteligencia, la coordinación y la psique, es decir, factores vinculados a procesos de percepción, procesamiento de la información y acción (ver Figura 1). Con dicho modelo pretendía dar a entender la importancia de diferentes factores no relacionados con aspectos físicos que podían influir en el futuro rendimiento deportivo de manera directa, por lo que su estudio y entrenamiento podía mejorar el rendimiento de los deportistas.

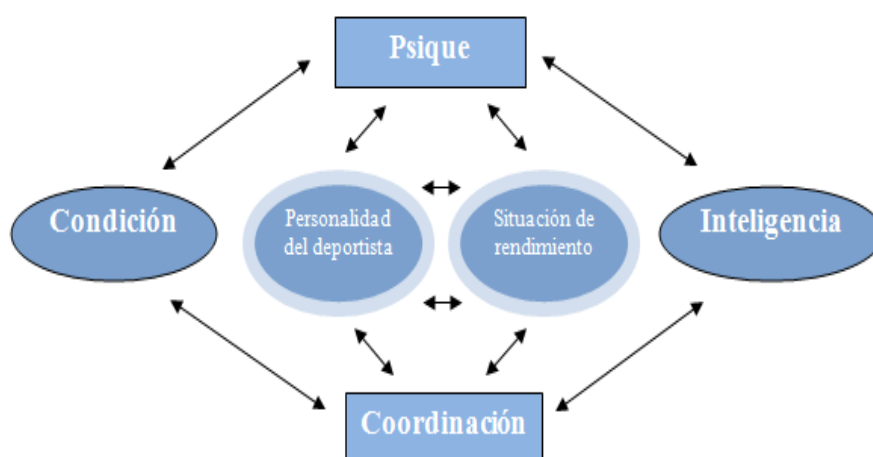


Figura 1: Modelo de la estructura del rendimiento. Modificado de Martin (1980).

Con el paso de los años y la publicación de diferentes investigaciones (e.g., Nitsch et al., 2002; Platonov, 1988), han ido apareciendo otros modelos siguiendo las premisas básicas del anterior. Entre otros, Ehlenz, Grosser y Zimmermann (1985), propusieron un modelo de la estructura del rendimiento que añadía nuevas variables respecto al modelo planteado por Martín (1980) (e.g., las capacidades cognitivo-tácticas, las capacidades psíquicas, las capacidades coordinativas y las habilidades a la hora de realizar el movimiento) (ver Figura 2), siendo la relación de todas ellas las que determinaran en cierto modo el rendimiento final en las diferentes situaciones deportivas.



Figura 2: Modelo de la estructura del rendimiento. Adaptado de Ehlenz et al. (1985).

En esa misma línea, Seirul-lo (2001), determinó que existen un número elevado de estructuras interrelacionadas entre sí, (e.g., la estructura condicional, coordinativa, socio-afectiva o mental-cognitiva entre otras), y que las influencias de unas sobre otras determinan el nivel de rendimiento de un deportista (ver Figura 3).



Figura 3: Estructuras del rendimiento deportivo. Modificado de Seirul.lo (2001).

Con todo lo citado anteriormente, queda claro que las funciones cognitivas tienen una influencia directa sobre el rendimiento deportivo. La capacidad de respuesta específica de un jugador a las demandas que requieren la resolución de ciertas situaciones deportivas depende mucho de la capacidad que este tenga para capturar la información ambiental relevante (e.g., la posición del balón, del adversario, del compañero, etc.), e intentar obviar aquella información irrelevante (e.g., los gritos del público, pitidos, fintas, etc.). En base a este procesamiento adecuado de la información relevante se podrá generar una respuesta adecuada que satisfaga sus necesidades, factor clave que subyace en prácticamente todas las acciones perceptivo-motoras que se llevan a cabo en las distintas competiciones deportivas (Weinberg y Gould, 1995).

Con lo expuesto hasta el momento, queda argumentada la importancia de la investigación centrada en el aumento del conocimiento acerca de cómo el rendimiento final de una acción (muchas veces definida en términos de velocidad de respuesta o precisión de la misma) está modulada por variables que se sitúan en las fases previas a la ejecución deportiva. Desde nuestro enfoque, son los procesos cognitivos, y más

concretamente los procesos atencionales (Williams, Davids y Williams, 1999), los que determinarán la elección de un gesto técnico u otro, así como la velocidad y momento de ejecución. Por este motivo, en la presente tesis, nos centraremos directamente en el estudio de la atención, resaltándose que la relevancia de esta función ha sido ampliamente estudiada por numerosos autores en el contexto deportivo (e.g., Memmert, 2009; Memmert, Simons y Grimme, 2009; Williams et al., 1999).

En los siguientes apartados se describirá detalladamente el concepto de atención, sus características y las principales teorías que han surgido con el propósito de describir su funcionamiento.

2.2. La atención.

Existen distintas formas de entender y conceptualizar el término atención debido principalmente a su gran complejidad, por lo que su definición y funciones atribuidas han sido controvertidas a lo largo de los años dedicados a su investigación y conocimiento, tanto en la psicología general (e.g., LaBerge, 1995; Parasuraman y Davies, 1984) como en la deportiva (e.g., Memmert, 2009; Williams et al., 1999).

Antes de describir en profundidad sus características principales, vamos a hacer un breve repaso a las principales definiciones y funciones atribuidas a la atención a lo largo de la historia.

2.2.1. Breve conceptualización y evolución histórica.

Los humanos disponemos de una capacidad sensorial tan desarrollada que somos capaces de apreciar y procesar información de varios aspectos del medio ambiente que nos rodea, es decir, podemos percibir continua y simultáneamente multitud de formas, tamaños, sonidos, colores, texturas,... (Posner y Petersen, 1990).

Por ejemplo, uno de los primeros autores en conceptualizar la atención como un proceso facilitatorio fue Broadbent (1958), que definió la atención como un “filtro” de carácter pasivo y poco flexible que “defendía” nuestro sistema cognitivo de una sobrecarga de información sensorial y que daba preferencia al estímulo atendido en detrimento de los distractores.

La localización del “filtro” atencional ha sido un tema de debate a lo largo de la historia del término atención, con autores como Broadbent (1958) como uno de los primeros defensores de la selección temprana (ver Figura 4); u otros como Deutsch y Deutsch (1963) o Treisman (1964) planteando la selección tardía (ver Figura 5).

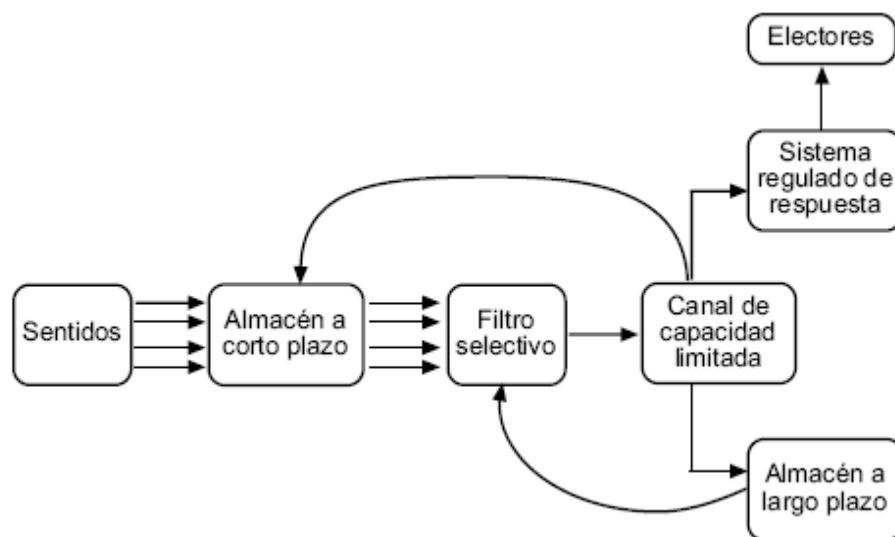


Figura 4: Esquema del modelo de Broadbent. Adaptado de Broadbent (1958).

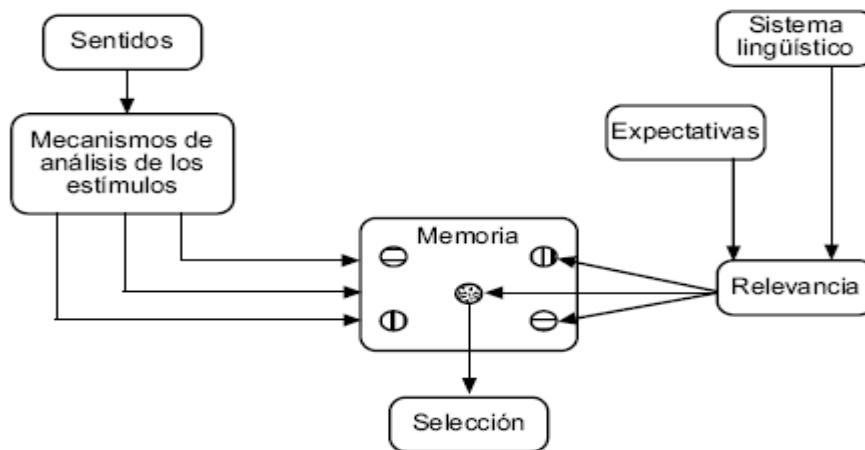


Figura 5: Esquema del modelo de Deutsch y Deutsch. Adaptado de Deutsch y Deutsch (1963).

La sobrecarga de información sensorial que “sufrir” el sistema cognitivo, se debe a que los seres humanos disponemos de unos recursos limitados que no son capaces de procesar toda aquella información que llega a través de los sentidos (Posner, 1980). Así pues se torna necesaria la existencia de un sistema (el sistema atencional) que se encargue del procesamiento de la información, con el propósito de seleccionar y procesar sólo aquella información ambiental que podría ser relevante para llevar a cabo nuestro objetivo, desechando aquella otra que se considera irrelevante (Posner, 1980).

La concepción de la atención como un filtro (pasivo) ha sido relacionada con la hipótesis de “*bottle neck*” o “cuello de botella” (Pashler, 1998). Este símil permite mostrar cómo la atención permitiría que la información útil, es decir, aquella información relevante para el desempeño de la tarea propuesta, pase el primer filtro y llegue a niveles de procesamiento más profundos, mientras que aquella no útil e irrelevante para la tarea simplemente se disipa en los niveles anteriores.

Años más tarde comenzaron a surgir teorías que asignaron a la atención un papel activo y flexible en el procesamiento de la información (Eriksen y Yeh, 1985; Norman y Bobrow, 1975; Posner, Snyder y Davidson, 1980), concibiéndose la atención como un

mecanismo que modulaba el procesamiento de la información a diferentes niveles (ver LaBerge, 1995, para una revisión). Igualmente, al mismo tiempo que se producía la facilitación en la percepción y procesamiento de estímulos relevantes, se producía la inhibición de los estímulos distractores presentes en la escena con capacidad para interferir en el procesamiento de los estímulos objetivos.

Este tipo de planteamientos llevaron a una nueva conceptualización de la atención, que pasó a ser considerada como un proceso activo y flexible, que se adaptaba a las necesidades y exigencias requeridas por la tarea que se estuviera realizando. Así pues, se pasó de la metáfora de “filtro” a otras como “fuente de recursos” (Kahneman, 1973; Norman y Shallice, 1986), o “foco” (Erikssen y Yeh, 1985; Posner et al., 1980) (ver Figura 6). La idea de “foco” atencional se fundamenta en la existencia de un mecanismo que facilita la detección y discriminación de aquellos estímulos objetivos situados dentro de una región específica del mapa perceptual, y que permite ignorar los estímulos distractores situados dentro o fuera de dicha región o ventana temporal.

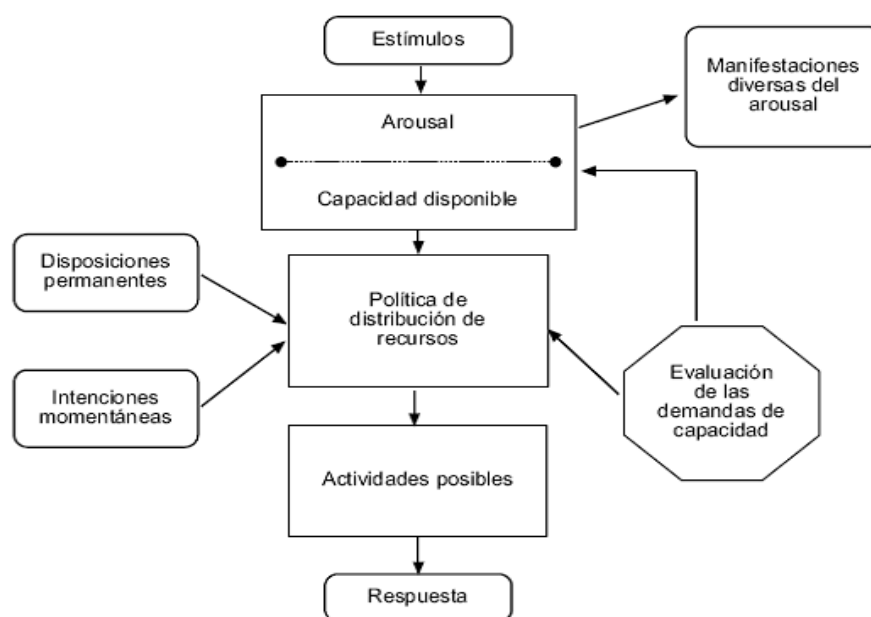


Figura 6: Esquema del modelo de Kahneman. Adaptado de Kahneman (1973).

Después de hacer un breve repaso a las diferentes teorías que han acompañado al término atención durante su breve historia, vamos a centrarnos en su funcionamiento y relevancia sobre el comportamiento humano en general y el rendimiento deportivo en particular.

2.2.2. Contextualización actual de la atención.

Como hemos explicado en el apartado anterior, la atención es un mecanismo de procesamiento y selección de la información que recibimos del exterior, así como de la información almacenada en el sistema (i.e., memoria). Además, la atención no solo selecciona y procesa aquellos estímulos relevantes que recibe de forma exógena (externa) o endógena (interna), sino que ejerce un control sobre la conducta mediante la identificación de una o varias necesidades, el procesamiento de una estrategia cognitiva y/o motora y la utilización apropiada de los recursos atencionales para satisfacer tal necesidad (Posner y Dehaene, 1994).

En esta línea se han desarrollado diferentes teorías o modelos con el propósito de clarificar y organizar teóricamente todas las concepciones existentes sobre el término atención. En el siguiente subapartado se describirán algunas de las más importantes.

2.2.2.1. Teorías atencionales.

2.2.2.1.1. Modelo de Competición Sesgada (Desimone y Duncan, 1995).

Desimone y Duncan (1995) propusieron un modelo explicativo del funcionamiento de la atención denominado “Modelo de Competición Sesgada”. Este modelo se basa principalmente en que cuando se presentan dos estímulos simultáneamente dentro de nuestro campo visual, activando sus representaciones

neuronales en paralelo, dichos estímulos compiten por los recursos neuronales disponibles. En función de donde recaiga la atención dicha competición se verá sesgada hacia un estímulo u otro, a través de señales tanto endógenas (predicen la futura localización de estímulo objetivo) como exógenas (no predicen la futura localización del estímulo objetivo).

Estos autores (Desimone y Duncan, 1995) sugieren que el cerebro no procesa los estímulos de forma independiente, sino que existe una competición entre ellos, afectando esta competición a la manera en que son representados en el cerebro y con ello a la calidad en la representación de los estímulos. Este hecho fue demostrado mediante el uso de imagen por resonancia magnética funcional (fMRI), observando que cuando los estímulos se presentaban simultáneamente, la señal fMRI era de menor magnitud que cuando esos estímulos se presentaban de manera secuencial (Desimone y Duncan, 1995), es decir, primero uno y posteriormente el otro. Dicho de otro modo, cuando los estímulos se representan uno a uno como parte de una secuencia, estos se representan con un mayor nivel de activación neuronal que cuando se presentan los mismos estímulos de forma simultánea.

2.2.2.1.2. Modelo de Corbetta y Shulman (2002).

Corbetta y Shulman (2002) propusieron un modelo atencional que sugiere la existencia de dos redes cerebrales parcialmente independientes que desempeñan dos tipos de funciones diferentes, a la vez que complementarias, en el control de la atención (ver Figura 7). Por una parte, la red denominada Frontoparietal Dorsal, la cual está integrada por áreas de la corteza intraparietal y del surco frontal superior, y estaría implicada en los mecanismos de selección de estímulos y respuestas en virtud de las metas del individuo, o lo que entenderíamos como modo voluntario (procesamiento “*top-down*” o orientación

endógena). Por otra parte, la Red Frontoparietal Ventral, que incluye áreas del córtex temporoparietal y la corteza frontal inferior, está lateralizada en el hemisferio cerebral derecho, y estaría especializada en la detección de estímulos conductualmente relevantes, y en particular aquellos que se caracterizan por ser salientes, inesperados o novedosos (procesamiento “*bottom-up*” o orientación exógena). Estos dos tipos de orientación, claves en los estudios que nos plantearemos en la presente tesis doctoral, se describirán más detalladamente en apartados posteriores.

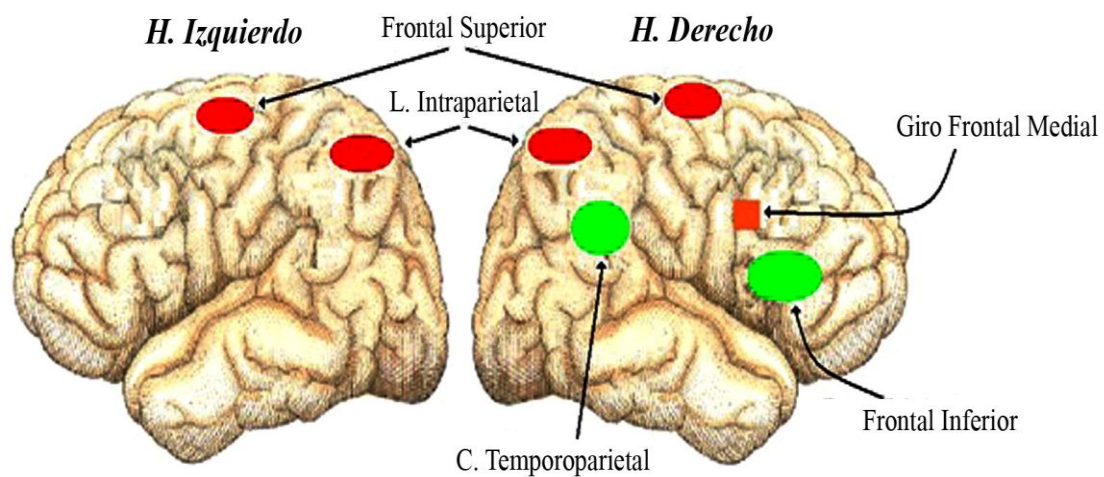


Figura 7: Modelo neuroanatómico del modelo atencional de Corbetta y Shulman (2002). Modificado de Corbetta y Shulman (2002). En rojo Red Frontoparietal Dorsal y en Verde Red Frontoparietal ventral.

Años más tarde Corbetta, Patel y Shulman (2008) mediante el uso de técnicas de neuroimagen demostraron que la diferenciación entre atención endógena y exógena no se puede atribuir a la existencia de diferentes sistemas neuronales sino que, dependiendo de la naturaleza de los estímulos y de las tareas propuestas, aparecen interacciones entre las dos redes. Por ejemplo, dentro de la red dorsal se puede dar una orientación de abajo

hacia arriba (*bottom-up*), en una situación de búsqueda visual por el fenómeno de “saltar a la vista” (*pop-out*)¹.

2.2.2.1.3. Teoría Atencional de Posner (Posner y Petersen, 1990).

Por último, una de las concepciones y/o teorías más integradoras del término atención, en la cual se encuadra la siguiente tesis doctoral, es la planteada por Posner y Petersen (1990). Estos autores defienden la existencia de tres sistemas o 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 8).

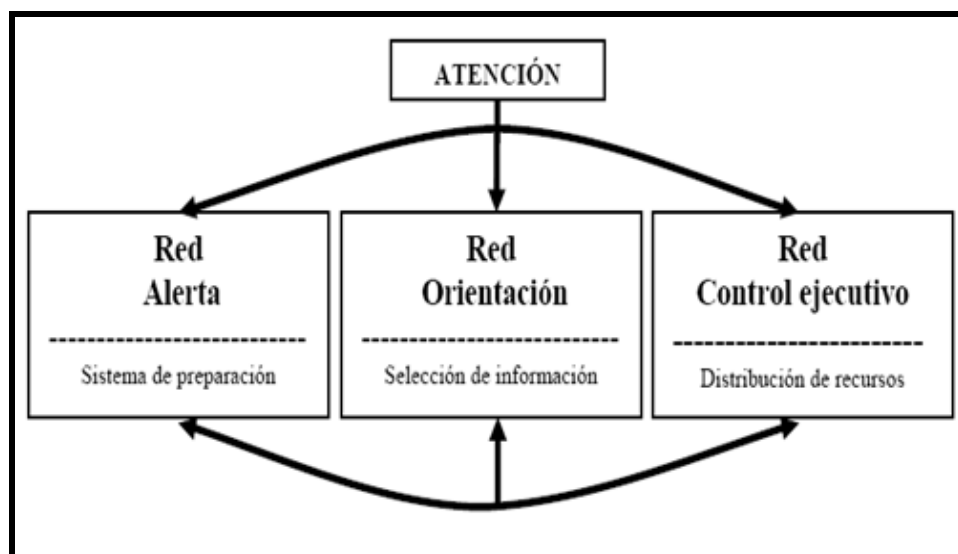


Figura 8: Las tres redes atencionales. Modificado de Posner y Petersen (1990).

La Red Atencional Anterior o de Control Ejecutivo es la encargada 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, o

¹Fenómeno utilizado en tareas de búsqueda visual, consistente en la presentación de distractores homogéneos entre sí y un objetivo que sólo se diferencia de los distractores en una característica (e.g., buscar el círculo amarillo [estímulo objetivo] entre círculos verdes [distractores]).

situaciones que impliquen la generación de una respuesta novedosa (Posner y Raichle, 1994). El funcionamiento de esta red se mide mediante el efecto de conflicto, originariamente denominado efecto de compatibilidad estímulo-respuesta. Dicho efecto se calcula en base a la diferencia entre los tiempos de reacción (TR) o precisión de la respuesta de los ensayos compatibles (aquellos en los que la respuesta del participante coincide espacialmente con la posición del estímulo objetivo) e incompatibles (aquellos en los que la respuesta del participante no coincide espacialmente con la posición del estímulo objetivo) (ver Figura 9).

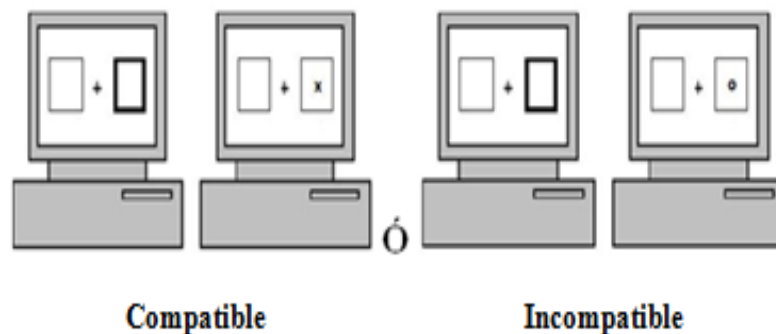


Figura 9: Representación gráfica de los dos niveles de la variable conflicto o control ejecutivo del paradigma inicial de Posner y Petersen (1990). “X” = botón derecho y “O” = botón izquierdo.

Hay que tener en cuenta que el análisis del funcionamiento de esta red depende de la tarea atencional que se utilice (e.g., ANT, ANT-I, Stroop, Flancos,...). En general en este tipo de tareas se observa que los participantes son más rápidos y más precisos en contestar a los ensayos compatibles que a los incompatibles (e.g., Callejas, Lupiañez y Tudela, 2004; Hommel, 1995 o Simon, 1969, para una revisión).

La Red Atencional de Vigilancia o Alerta es la encargada de mantener un estado preparatorio o de “*arousal*” general o alerta, necesario para la detección del estímulo esperado (Posner y Petesen, 1990). Hay estudios que enfatizan la función tónica o

duradera del estado de alerta en el tiempo durante la realización de tareas de vigilancia (Posner, 1978). Además también se atribuye a esta red la función de alerta fásica o de corta duración producida por la presentación de señales de aviso que anuncian de la posible aparición de un estímulo (Callejas et al., 2004). La magnitud del efecto de alerta se obtiene por la diferencia en los TRs o niveles de precisión de la respuesta entre los ensayos con señal de alerta (sonora o visual) y aquellos en los que no aparece ningún tipo de señal.

El patrón típico de resultados obtenidos en los estudios realizados sobre esta función atencional muestran que, aunque estas señales inespecíficas no informen del lugar, momento o identidad del estímulo objetivo, se suele responder de forma más rápida cuando el objetivo es precedido de la presentación de señales de alerta que en ausencia de ellas (Funes y Lupiañez, 2003; Oken, Salinsky y Elsas, 2006; Posner y Petersen, 1990).

En cuanto a la Red Atencional Posterior o de Orientación, sería la encargada de dirigir la atención hacia un lugar en el espacio o un momento en el tiempo donde se espera que aparezca un estímulo relevante (Lupiañez, Milliken, Solano, Weaver y Tipper, 2001). Uno de los procedimientos originarios y más utilizados para estudiar esta función consiste en la presentación abrupta de una señal en una de las posibles posiciones donde aparecerá el estímulo objetivo previamente a la presentación de éste (Posner, 1980; Posner y Cohen, 1984). La magnitud del efecto de orientación se obtiene por la diferencia en los TRs o niveles de precisión de la respuesta entre los ensayos con presentación previa al objetivo de una señal de orientación (ensayos válidos) y aquellos en los que no se presenta dicha señal, o se presenta en el lugar contrario (ensayos inválidos) (ver Figura 10)

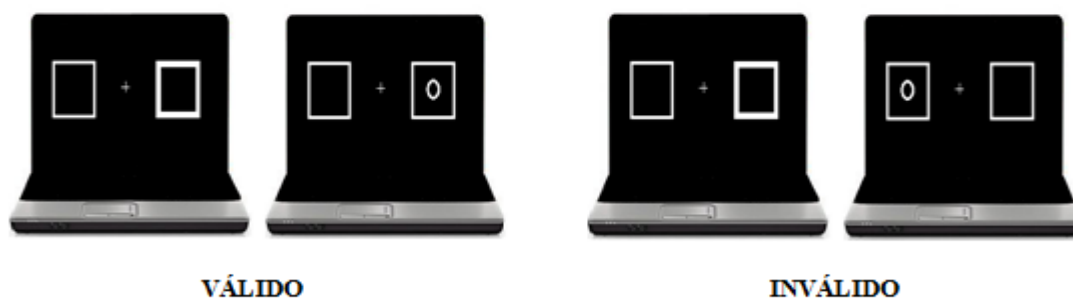


Figura 10: Representación gráfica de los dos niveles de la variable de orientación del paradigma inicial de Posner y Petersen (1990).

Se suele encontrar mayor rapidez y precisión de respuesta en los ensayos válidos que en los inválidos (Funes y Lupiañez, 2003). Para el estudio del funcionamiento de dicha red se ha utilizado el Paradigma de Coste y Beneficio (Posner y Cohen, 1984), que se describirá detalladamente en los siguientes apartados.

Una vez expuestas brevemente las diferentes formas de entender la atención, sus teorías y principales características, vamos a pasar a describir en profundidad el funcionamiento de la Red Atencional Posterior o de Orientación, es decir, de la orientación atencional, ya que es la principal función estudiada en nuestra serie experimental.

2.3. Orientación atencional.

La orientación de la atención se entiende como la habilidad para focalizar la atención selectivamente hacia un lugar determinado en el espacio o un momento en el tiempo donde aparecerá el estímulo o estímulos relevantes para el desempeño de la tarea propuesta (ver Reynolds y Chelazzi, 2004, para una revisión).

Lo más habitual es que cuando se orienta la atención hacia un lugar determinado en el espacio también se orienten los receptores sensoriales, es decir los sentidos, y en el caso de la visión, la mirada. En este caso se habla de orientación atencional abierta

(Posner, 1980). Sin embargo, en otras situaciones la atención se puede orientar hacia un lugar en el espacio sin necesidad de orientar los sentidos, denominándose como orientación atencional encubierta (Posner, 1980). Ambos tipos de orientación atencional serán objeto de estudio en la presente tesis doctoral.

En prácticamente todas las actividades deportivas, nuestro sistema atencional recibe gran cantidad de información tanto espacial como temporal, ya sea mediante la captura exógena o mediante la generación de expectativas (i.e., endógena), permitiendo orientar la atención y optimizar la capacidad de prepararse para el mejor procesamiento del evento relevante, y con ello mejorar la capacidad de respuesta (Correa, Lupiañez y Tudela, 2004; Posner, 1980). En definitiva, la orientación atencional es clave para organizar de forma adecuada el proceso perceptivo, facilitando una reacción rápida y precisa ante los estímulos percibidos.

En los siguientes subapartados se describirán más detalladamente los diferentes tipos de orientación atencional y sus principales características.

2.3.1. Orientación Atencional Temporal.

La orientación temporal es la función atencional que permite a las personas anticiparse y/o prepararse para el momento clave en el cual ocurrirá un evento importante para el buen desempeño de la acción motriz propuesta. En este tipo de orientación, la atención es focalizada hacia el instante específico en el que se espera que ocurra un evento relevante (Coull y Nobre, 1998).

Diferentes estudios (e.g., Correa et al., 2004; Coull y Nobre, 1998) han demostrado que las personas pueden mejorar su percepción visual atendiendo al instante temporal en el que se espera que ocurra un evento importante, definiendo el efecto de orientación como el beneficio atencional resultante de la diferencia entre el

procesamiento de estímulos que aparecerán en el momento esperado o atendido y el procesamiento de estímulos que aparecerán en el momento inesperado o no atendido (Correa et al., 2004).

Como en el caso de la orientación espacial, existen dos formas de orientar la atención en el tiempo: de forma inespecífica o exógena o de forma específica o endógena (Correa, Lupiañez y Tudela, 2006; Coull, Frith, Büchel y Nobre, 2000). Por un lado, la orientación temporal exógena implica la focalización automática de la atención hacia un momento específico debido a la ocurrencia de un evento (Correa, 2005). Por otra parte, la orientación temporal endógena posibilita la focalización de la atención hacia un momento concreto, en función de las expectativas que generan los individuos acerca del momento en el que creen que ocurrirá un evento relevante para el desempeño de la tarea propuesta (Correa, 2005).

2.3.2. Orientación Atencional Espacial.

La orientación espacial se puede definir como la capacidad del sistema cognitivo para dirigir sus recursos atencionales hacia aquellos estímulos o lugares en el espacio que son potencialmente relevantes para llevar a cabo la tarea propuesta (Lupiañez et al., 2001).

Como se indicó anteriormente, y al igual que la orientación temporal, la literatura ha descrito dos formas diferentes de orientar la atención en el espacio, dependiendo de la “voluntariedad” con la que esta se orienta (para más detalle véase, Corbetta, Patel y Shulman, 2008).

La orientación de la atención hacia un lugar en el espacio donde aparece un estímulo, ya sea porque es un estímulo nuevo, no esperado o porque aparece de manera brusca en el campo visual, es decir, la captura atencional producida por las características

propias de los estímulos, es conocida como orientación atencional exógena o involuntaria (Ruz y Lupiáñez, 2002) (e.g., el flash de una cámara de fotos cuando nos disponemos a lanzar un penalti en balonmano). Dicha orientación es de gran relevancia en el ámbito deportivo, y sobre todo en los deportes colectivos de invasión, caracterizados por la aparición constante de estímulos novedosos a alta velocidad. La captura y procesamiento adecuado de dichos estímulos puede, por un lado mejorar los procesos de toma de decisión si se trata de un estímulo relevante para la tarea, o por el contrario, perjudicar la toma de decisiones si es irrelevante y nos distrae, de nuestro objetivo. Debido a la gran importancia que tiene dicha función en el ámbito deportivo, será la función principal a estudiar en la presente tesis doctoral.

Por otra parte, la atención espacial también puede dirigirse a los estímulos de acuerdo con las metas, intenciones y expectativas de la persona, siendo esta función conocida como orientación atencional endógena o voluntaria (e.g., cuando un jugador de baloncesto focaliza la atención en la posición corporal del contrario porque prevé que puede ayudar a determinar en qué dirección se moverá y de ese modo poder anticiparse al movimiento) (Corbetta, Patel y Shulman, 2008; Posner, Nissen y Ogden, 1978).

Para estudiar la función de orientación atencional, Posner y colaboradores (Posner, 1980; Posner y Cohen, 1984; Posner, Rafal, Choate y Vaughan, 1985; Posner et al., 1980), propusieron un nuevo paradigma de investigación que se ha tornado imprescindible en el estudio de dicha función atencional. Estos investigadores lo definieron como el conocido “Paradigma de Costes y Beneficios” que describiremos a continuación, y que ha permitido conocer más profundamente su funcionamiento y los diferentes mecanismos que subyacen a la orientación de la atención.

2.3.3. Paradigma de Costes y Beneficios.

Este paradigma se basa fundamentalmente en presentar al participante una secuencia de estímulos objetivo que debe detectar o discriminar², y que se presentan en una localización periférica del campo visual (Posner y Cohen, 1984).

El protocolo original se inicia con la presentación en la pantalla de un ordenador de un punto de fijación y dos cajas, una a cada lado de este. La tarea primaria consiste en detectar un estímulo objetivo (“*target*”), estando éste precedido por la presentación de una señal de aviso (“*cue*”) en una de las posibles localizaciones donde aparecerá el estímulo objetivo. La presentación de esta señal de manera abrupta en el campo visual provoca la orientación de la atención hacia la localización señalada. El tiempo transcurrido entre la aparición de la señal y el objetivo se denomina SOA (del inglés “*Stimulus Onset Asynchrony*”), que como veremos más adelante, es un factor importante a la hora de interpretar los distintos efectos de la captura atencional.

En el paradigma original (ver Figura 11) existen tres condiciones de señalización u orientación: 1) señal central, por ejemplo un color que indica la caja donde puede ser presentado el estímulo objetivo, 2) señal periférica, que aparece en uno de los marcadores o cajas en la que el estímulo objetivo puede ser presentado, y 3) señal neutra, que señala ambas posiciones donde puede aparecer el estímulo objetivo, pudiendo ser tanto periférica como central.

Una de las manipulaciones más comunes de la señal de orientación atencional es su predictibilidad en función del objetivo que persigue la investigación. En el caso de que

²Una tarea de detección (i.e., tiempo de reacción simple) exige una respuesta única en el momento en el que aparece un estímulo visual. Sin embargo, en una tarea de discriminación (i.e., tiempo de reacción compuesto) existen varias respuestas estando condicionadas por el estímulo objetivo que aparece (e.g., cuando aparece una X pulso “m” y cuando aparece O pulso “z”).

el objetivo sea estudiar la orientación atencional endógena, se suele emplear un mayor porcentaje de señales de orientación que coincidan con la futura localización del estímulo objetivo (i.e., tipo “predictivas”) (e.g., Lupiañez et al., 2004). Por el contrario, si se pretende estudiar la orientación exógena, utilizaremos el mismo porcentaje de señales de orientación que coincidan y que no coincidan con la futura localización del estímulo objetivo (i.e., “no predictivas”) (e.g., Lupiañez et al., 2004).

El estímulo objetivo podía aparecer en la ubicación previamente señalada (ensayos señalados o válidos) o en la no señalada (ensayos no señalados o inválidos).

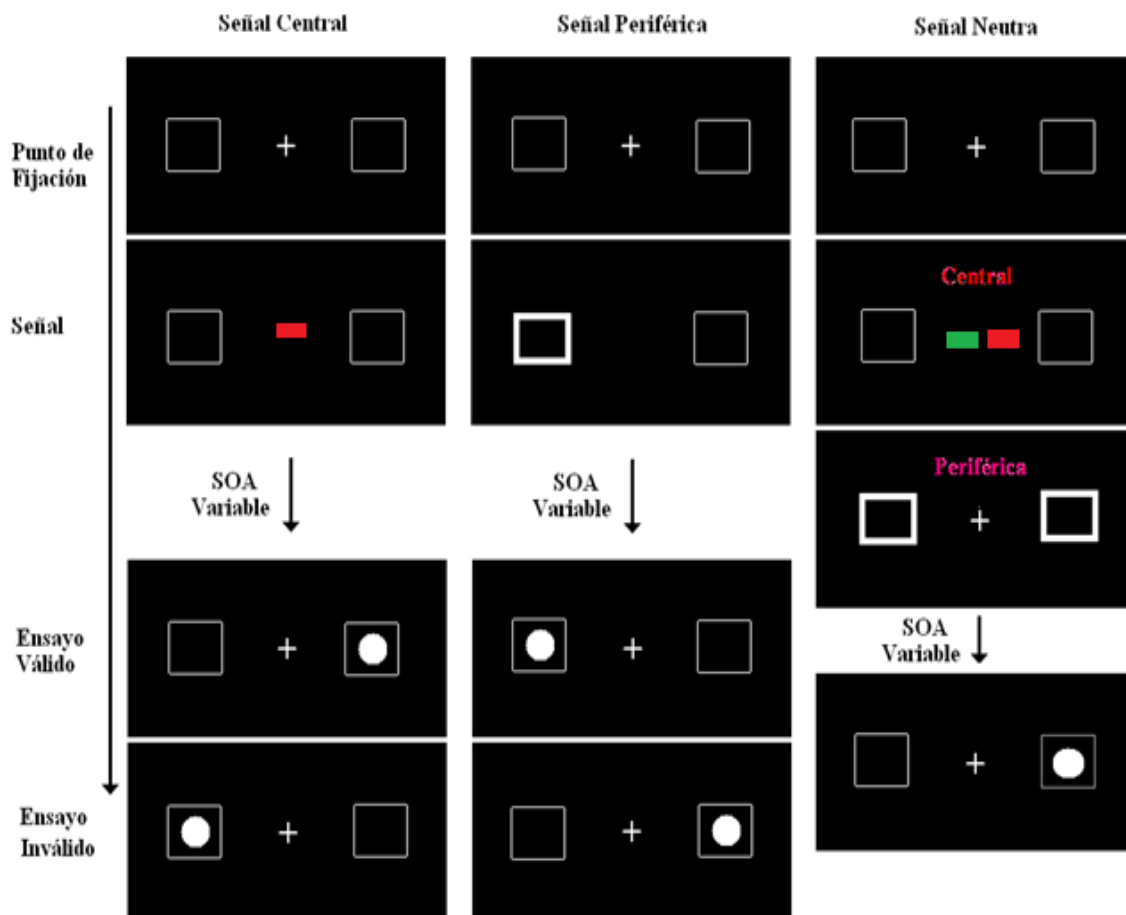


Figura11: Tarea atencional basada en el Paradigma de Costes y Beneficios. Modificada de Posner y Cohen (1984). Nota: El color rojo indica la caja derecha como la posible localización del estímulo objetivo y el color verde la caja izquierda.

Los resultados de numerosas investigaciones realizadas empleando el paradigma de costes y beneficios (en su versión original o en base a modificaciones del mismo) han mostrado que cuando se orienta la atención hacia un lugar determinado del campo visual, se observa un beneficio en el procesamiento de la información presentada en esa localización (e.g., Funes y Lupiáñez, 2003). Dicho de otro modo, se puede afirmar que, a pesar de que no hay movimientos oculares (atención encubierta), la orientación de la atención al lugar de aparición del estímulo durante los ensayos válidos acorta el TR y disminuye las respuestas erróneas respecto a los ensayos neutros. Sin embargo, en los ensayos inválidos, en los que la atención ha sido orientada a la posición opuesta a aquella en la que aparecerá el estímulo objetivo, el TR y las respuestas erróneas aumentan. La diferencia entre el TR o porcentaje de errores de los ensayos neutros y los ensayos válidos se denomina beneficio atencional, mientras que la diferencia entre el TR o porcentaje de errores entre los ensayos neutros e inválidos se define como coste atencional.

Con frecuencia se suele prescindir en el diseño de procedimientos experimentales de los ensayos neutros, debido a la dificultad de encontrar una señal puramente neutra (ver Jonides y Mack, 1984 para una revisión sobre este tema), por lo que se estudia el efecto atencional, que es la diferencia en TR entre ensayos inválidos y válidos (ver Figura 12).

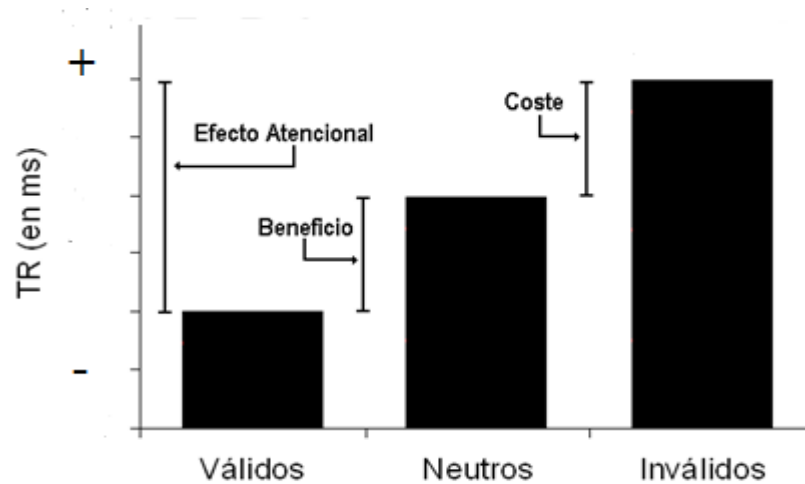


Figura 12: Coste, Beneficio y Efecto Atencional en el Paradigma de Costes y Beneficios (Posner y Cohen, 1984).

Este paradigma también ha sido utilizado para conocer cómo se orienta la atención en el espacio según el tipo tarea, tanto desde el punto de vista de la fuente estimular (vista, oído, etc.; e.g., Reuter-Lorenz, Jha y Rosenquist 1996), como de su objetivo (detección o discriminación; e.g., Lupiáñez, Milán, Tornay, Madrid y Tudela, 1997).

El patrón típico de resultados que se obtiene en los estudios que emplean el paradigma de costes y beneficios con señales exógenas (como los que se emplearan en la presente tesis doctoral) se caracteriza por mostrar una mejora en el rendimiento (es decir, menores TR o mayor precisión de la respuesta) en los ensayos válidos respecto a los inválidos (Funes y Lupiáñez, 2003; Posner et al., 1980). Este efecto se observa incluso cuando el tiempo transcurrido entre la señal de aviso y el objetivo es inferior al tiempo necesario para realizar un movimiento ocular sacádico, es decir, unos 250 milisegundos (ms) (Ditchburn, 1973; Reulen, 1984). Esta mejora de rendimiento en los ensayos válidos cuando se emplean SOAs cortos se ha denominado efecto de Facilitación (ver Figura 17) y parece indicar que al orientar la atención previamente hacia el lugar donde aparecerá

posteriormente el estímulo objetivo (aunque no prediga el lugar de aparición) mejora el procesamiento de los estímulos (Posner y Cohen, 1984).

Sin embargo, y como se comentó anteriormente, el efecto de orientación atencional espacial depende del intervalo transcurrido entre la aparición de la señal de aviso y la aparición del estímulo objetivo (i.e., SOA). Así cuando el SOA es superior a 200-300 ms, dicho efecto se invierte, observándose que los participantes son más rápidos y cometen menos errores en responder cuando el estímulo objetivo se presenta en un lugar diferente al previamente señalado por la “cue”, es decir, en los ensayos inválidos. Esta inversión del efecto de facilitación fue observada por primera vez por Posner y Cohen (1984), y la denominaron como efecto de Inhibición de Retorno (IR) (ver Figura 13).

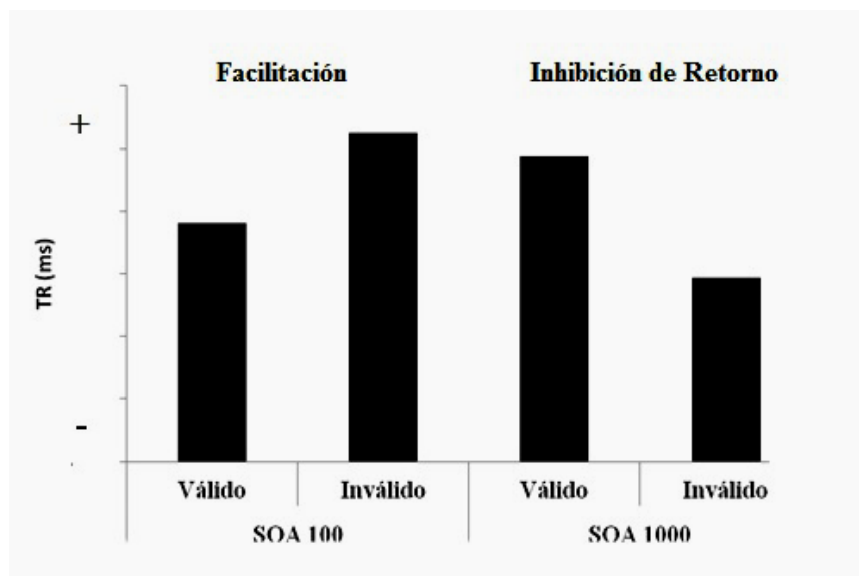


Figura 13: Efectos de Facilitación en SOA corto (100 ms) e Inhibición de Retorno en SOA largo (1000 ms).

Según algunos autores (e.g., Klein, 2004) la IR podría explicarse por el hecho de que, al no encontrarse el estímulo objetivo en el lugar señalado, la atención se reorientaría hacia otras localizaciones con el fin de favorecer la exploración de nuevas posiciones, lo

que provocaría una inhibición para reorientar la atención a lugares que ya habían sido atendidos previamente.

La IR se ha observado tanto en tareas de detección como de discriminación (Chica y Lupiáñez, 2004; Chica, Lupiáñez y Bartolomeo, 2006; Lupiáñez, 2010; Lupiáñez et al., 1997; Lupiáñez, Ruz, Funes y Milliken, 2007) aunque con un curso temporal diferente. Así, se ha observado la IR más tardíamente (con SOAs de 700 y 1000 ms) en las tareas de discriminación que en las de detección (Klein, 2000; Lupiáñez et al., 1997; Lupiáñez, Tornay y Tudela, 1996). Según Klein (2000) esto podría deberse a que la atención se desengancha más tarde en la tarea de discriminación (hipótesis del desenganche tardío o *“late disengaging”*). Sin embargo, esta diferencia en el curso temporal podría también deberse a que otros efectos de señalización (efectos perceptuales independientes de la orientación-reorientación) son facilitatorios durante un intervalo mayor, o en mayor medida, en la tarea de discriminación (Lupiáñez et al., 2001). Las últimas investigaciones desmienten estas hipótesis, encontrando IR en tareas de detección pero no en tareas de discriminación de color (Chica, Taylor, Lupiáñez y Klein, 2010).

Por otra parte, existen diferentes estudios que contradicen las explicaciones del efecto de IR basadas en la hipótesis de la reorientación. En este sentido trabajos como los de Chica y Lupiáñez (2004); Chica et al. (2006) o Dukewich (2009), al realizar diferentes manipulaciones del estímulo objetivo, observaron que la IR también aparecía en el lugar en que los participantes esperan que se presente el objetivo. Dicho de otro modo, se observó IR incluso en condiciones en las que los participantes sabían que el estímulo objetivo se presentaría en un lugar determinado con una alta probabilidad, por lo que estarían orientados hacia esa posición (Expectativa Espacial) (ver Lupiáñez et al., 2004; Lupiáñez, Klein y Bartolomeo, 2006).

Las explicaciones más recientes sobre los efectos de facilitación e IR se basan en que la aparición de un elemento nuevo en nuestra escena visual siempre provoca un cierto grado de captura atencional, independientemente de la expectativa endógena que pueda tener el participante (Lupiáñez et al., 2004). Debido a esto, en SOAs cortos, tanto la señal de aviso como el estímulo objetivo se benefician de dicha captura atencional, ya que los dos estímulos son tratados como un único objeto nuevo (Lupiáñez et al., 2001). Por el contrario, cuando se emplean SOAs largos, el tiempo transcurrido entre la señal y el estímulo objetivo provoca que el procesamiento de ambos se segmente, y por tanto, si el estímulo objetivo se presenta en una posición previamente señalada, no es considerado como un elemento nuevo, por lo que no se beneficia del fenómeno de captura atencional. Sin embargo, cuando el estímulo se presenta en una posición no señalada, el sistema cognitivo sí lo procesa como un objeto nuevo, y por tanto es más rápida su captura atencional. En base a esto algunos autores sugieren que el efecto de IR se podría deber a una pérdida de facilitación que se produce en las posiciones en las que se presenta un estímulo nuevo y previamente ya habían sido atendidas (Milliken, 2002; Milliken, Tipper, Houghton y Lupiáñez, 2000), o lo que podría explicar como una pérdida de novedad del estímulo objetivo (Chica y Lupiáñez, 2004).

Para concluir, algunos autores afirman que el efecto de IR observado en SOAs largos podría representar un coste en la detección del objetivo debido a la habituación de la captura atencional en el lugar donde la atención había sido capturada previamente (Dukewich, 2009; Lupiáñez, 2010).

En resumen, a lo largo de los apartados anteriores dedicados a conceptualizar el término atención en general y la orientación atencional espacial en particular, hemos pretendido acercarnos a sus diferentes definiciones y teorías, así como resaltar su importancia tanto en la vida cotidiana, como en el contexto deportivo.

En este trabajo de investigación intentaremos profundizar en el estudio de la relación entre la atención y el ejercicio físico, y más concretamente, como se ve modulado el funcionamiento del sistema atencional cuando el individuo se ve sometido a la realización de diferentes esfuerzos físicos con su consiguiente estrés fisiológico.

2.4. Ejercicio físico y funcionamiento cognitivo.

Los efectos del ejercicio físico sobre el funcionamiento cognitivo pueden analizarse de dos modos distintos, en función de la duración de la aplicación del mismo sobre el practicante. Por un lado podríamos diferenciar los efectos inducidos por un ejercicio físico puntual, aplicado en un momento concreto sobre el participante, y que tendrían efectos reversibles a corto plazo en el sistema cognitivo (ver McMorris, Tomporowski y Audiffren, 2009 o Tomporowski, 2009 para una revisión). Por otra parte se pueden analizar los efectos que provoca sobre el sistema cognitivo una práctica más regular o habitual a lo largo del tiempo, los cuales suelen tener un carácter más duradero sobre diferentes estructuras y funciones cerebrales (Colcombe y Kramer, 2003; Erickson et al., 2011).

Los efectos a largo plazo de la práctica regular de actividad físico-deportiva sobre el funcionamiento cognitivo han sido ampliamente estudiados, existiendo bastantes evidencias que demuestran el efecto positivo de esta práctica, sobre todo en intensidades aeróbicas moderadas (del 40% al 80% del consumo máximo de oxígeno [VO_{2max}]) sobre varios índices de salud mental (e.g., reducción del estrés, ansiedad, depresión, aumentos del estado de ánimo positivo y bienestar general psicológico), y otras funciones cognitivas (e.g., memoria a corto plazo, búsqueda visual percepción, motivación,...) (ver revisiones de Etnier, Nowell, Landers y Sibley, 2006; Hillman, Erickson y Kramer, 2008 o Scully, Kremer, Meade, Graham y Dudgeon, 1998).

Sin embargo, en base a nuestro principal objeto de estudio, la presente tesis doctoral se centra en el conocimiento de los efectos que tiene el ejercicio físico puntual sobre el funcionamiento cognitivo. En el siguiente subapartado se realizará una breve revisión de los efectos a nivel fisiológico que produce la realización de un esfuerzo físico, así como sus efectos sobre el sistema cognitivo.

2.4.1. Cambios fisiológicos inducidos por la realización de un esfuerzo físico puntual.

Durante la realización de ejercicio físico participan prácticamente todos los sistemas y órganos del cuerpo humano. Así el sistema muscular es el efector de las órdenes motoras generadas en el sistema nervioso central, siendo la participación de otros sistemas (como el cardiovascular, pulmonar, endocrino, renal,...) fundamental para el apoyo energético hacia el tejido muscular y de este modo poder mantener la actividad motora (Wilmore y Costill, 2007).

La contracción muscular durante la realización de esfuerzos físicos es posible gracias a un proceso de transformación de energía, es decir, las moléculas de los diferentes sustratos energéticos (glucosa, grasas, hidratos de carbono,...) disponen de una energía química que es transformada en energía mecánica mediante la molécula de ATP (adenosin trifosfato). Los sustratos más utilizados para la obtención de energía en las diferentes rutas metabólicas son los hidratos de carbono y las grasas (Wilmore y Costill, 2007).

El organismo dispone de tres sistemas diferentes de obtención de energía, el sistema ATP-PC, el sistema glucolítico y el sistema oxidativo. Mediante estos tres sistemas, el organismo genera por medio de diferentes reacciones químicas, moléculas de ATP, que serán las encargadas de liberar la energía a los músculos. Estas reacciones

químicas se pueden dar con la presencia de oxígeno (O_2) (metabolismo aeróbico) o en ausencia de este (metabolismo anaeróbico) (Wilmore y Costill, 2007).

Debido a todas estas reacciones, la realización de un esfuerzo físico consume gran cantidad de recursos metabólicos para obtener energía y satisfacer las demandas físicas del esfuerzo, entre los que se encuentran el glucógeno muscular y hepático, los hidratos de carbono, las grasas, etc.

Por otra parte, existen determinadas respuestas del organismo a la realización de un esfuerzo físico. Por ejemplo, en el sistema cardiovascular y circulatorio se producen (Wilmore y Costill, 2007):

- Aumento del gasto cardíaco.
- Aumento del volumen sistólico.
- Aumento de la frecuencia cardíaca (FC).
- Aumenta el flujo sanguíneo.
- Aumenta la presión arterial.
- Aumenta el volumen cardíaco.

También se produce un aumento en la concentración de ácido láctico, un aumento en la secreción de neurotransmisores, como por ejemplo noradrenalina (Dishman, 1997), endorfinas (Hoffman, 1997) o serotonina (Chaouloff, 1997), así como un aumento en la absorción de O_2 para satisfacer las demandas energéticas requeridas principalmente por los músculos (Wilmore y Costill, 2007).

Todos estos aspectos afectan directamente al metabolismo cerebral, siendo el flujo sanguíneo y la concentración de sustancias metabólicas los factores más importantes a la hora de cuantificar la magnitud del metabolismo cerebral (Secher, Seifert y Van Lieshout, 2008). El volumen del flujo del sanguíneo está directamente relacionado con la presión

arterial de dióxido de carbono (PaCO_2), y esta varía según la intensidad del esfuerzo realizado, observándose una disminución al realizar esfuerzos de alta intensidad, produciendo a su vez una reducción del flujo sanguíneo cerebral (Nielsen et al., 2002). Esta disminución en el flujo sanguíneo cerebral reducirá la correcta oxigenación del cerebro (Rasmussen, Stie, Nielsen, Nybo, 2006) y a su vez provocará una disminución de los recursos metabólicos disponibles en las zonas cerebrales (O_2 , glucosa, hidratos de carbono,...) (Secher et al., 2008).

2.4.2. Esfuerzo físico puntual y funcionamiento cognitivo.

En el ámbito deportivo, como hemos dicho anteriormente, el atleta suele realizar esfuerzos físicos de distinta intensidad y se encuentra continuamente rodeado de estímulos cambiantes en el espacio y en tiempo. En este contexto, los procesos cognitivos y su relación con los efectos que tendrán los esfuerzos físicos realizados jugarán un papel importante en la conducta del deportista, repercutiendo directamente en su rendimiento deportivo (ver revisiones de Lambourne y Tomporowski, 2010; McMorris et al., 2009; Tomporowski, 2003).

Para entender mejor el funcionamiento cerebral durante la realización de ejercicio físico hay que tener en cuenta que con el objetivo de llevar a cabo un esfuerzo, este se ve obligado a realizar cambios en la asignación de sus recursos cerebrales debido a que dispone de un suministro de energía finito (Dietrich y Audiffren, 2011). Por otra parte, también hay que tener en cuenta, que la realización de un esfuerzo físico es una tarea muy demandante a nivel cognitivo (Dietrich y Audiffren, 2011), donde se activan un gran número de zonas o redes cerebrales, entre otras las corteza motora primaria y secundaria, los ganglios basales, el cerebelo, el hipotálamo, el tronco cerebral,... (Dietrich, 2006).

Debido a que, como he dicho anteriormente, el cerebro dispone de un suministro de energía limitado para el funcionamiento de las distintas zonas cerebrales, este hecho provoca que la activación de unas zonas relevantes para llevar a cabo el ejercicio físico se deba realizar a expensas de otras menos relevantes (Chang, Labban, Gapin y Etnier, 2012).

Estos efectos descritos anteriormente a nivel cerebral y fisiológico suceden durante la realización del esfuerzo, entonces, ¿Qué sucede al finalizar el esfuerzo? ¿Cuánto tiempo perduran estos cambios en el tiempo?

En cuanto a la actividad en las regiones motoras involucradas en el procesamiento motor, presumiblemente, vuelvan a su línea base inmediatamente después de finalizar el esfuerzo (Dietrich y Audiffren 2011), provocando que esos recursos utilizados para activar dichas zonas motoras queden libres para ser utilizados por otras zonas cerebrales. Por otra parte, en referencia a los cambios en los niveles de lactato, la glucosa y el oxígeno, diferentes estudios observaron que la normalización metabólica que se da tras el cese del esfuerzo se producía de forma gradual en unos pocos minutos (Ángyán y Czopf, 1998; Ide, Schmalbruch, Quistorff, Horn y Secher, 2000). Lo que no queda claro en la literatura revisada es el tiempo que perduran estos cambios producidos por la realización de un esfuerzo físico, tras el cese de la actividad, y como este hecho afecta directamente al funcionamiento del cerebro de manera global (Dietrich y Audiffren, 2011), pudiendo observar cambios en su funcionamiento.

En general, la relación entre TR y la respuesta fisiológica a un ejercicio puntual, (e.g., absorción de O_2 , FC, lactato acumulado en sangre o secreción de neurotransmisores), sigue una función en forma de U invertida (Duffy, 1972; Schmidt, 1988) (ver Figura 14).

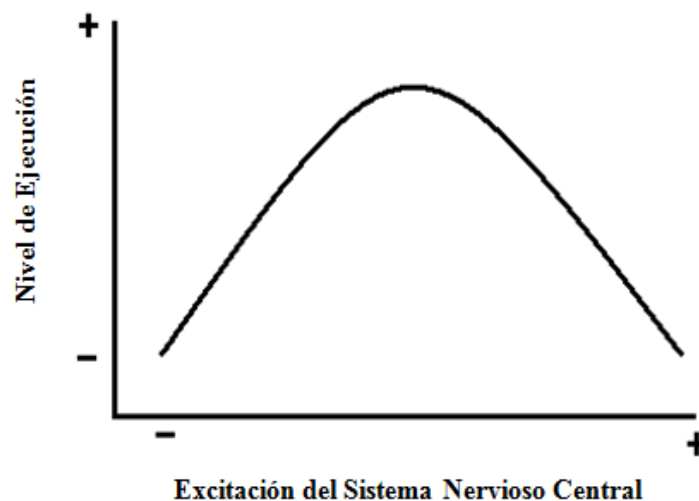


Figura 14: Relación entre TR y la excitación del sistema nervioso central a un ejercicio puntual (Modificado de Chmura, Nazar y Kaciuba-Uscilko 1994).

En esta relación se puede observar como el TR disminuye conforme aumenta la excitación del sistema nervioso central (SNC) y los consiguientes parámetros fisiológicos relacionados hasta un punto óptimo, donde el TR empieza a aumentar al ser superado. Chmura et al. (1994), sitúan este punto óptimo muy cerca, aunque ligeramente por encima del umbral anaeróbico (UA). La excitación del SNC está asociado con cambios a nivel hormonal (Clark, Geffen y Geffen, 1989), como con aumentos en la síntesis de noradrenalina, adrenalina o aumentos en la concentración plasmática de catecolaminas (ver Cooper, 1973; Greiwe, Hickner, Suresh, Cryer y Holloszy, 1999; McMorris, Collard, Corbett, Dicks y Swain, 2008).

Estos efectos de facilitación del ejercicio físico puntual sobre el TR han sido replicados posteriormente por multitud de estudios (Arcelin, Delignieres y Brisswalter, 1998; Chmura, Krysztofiak, Ziemba, Nazar y Kaciuba-Uscilko, 1998; Chmura, Nazar, Kaciuba-Uscilko y Pilis, 2002; Davranche, Audiffren y Denjean, 2006; Davranche, Burle, Audiffren y Hasbroucq, 2006; Davranche, Hall y McMorris, 2009).

Además de las mejoras producidas por el ejercicio físico puntual sobre la velocidad de la respuesta en general, existen estudios que han demostrado la influencia existente de este tipo de esfuerzos sobre diferentes procesos atencionales específicos (e.g., Audiffren, Tomporowski y Zagrodnik, 2009; Davranche et al., 2006b; Tomporowski, 2003, 2009), que pasarán a detallarse posteriormente.

En el siguiente subapartado se detallará el estado actual de la literatura en torno a los efectos sobre el sistema atencional después de realizar un esfuerzo físico puntual, ya que es un factor fundamental para el desarrollo de la siguiente tesis doctoral.

2.4.3. Esfuerzo físico puntual y funcionamiento atencional.

En el deporte en general, la toma de decisiones rápidas en momentos concretos nos puede conducir al éxito o el fracaso en determinadas situaciones, dependiendo del tiempo que empleemos en reaccionar ante un determinado estímulo (Williams et al., 1999). Para esto debemos de extraer y procesar la información relevante del complejo contexto deportivo, caracterizado como he descrito anteriormente, por un gran número de estímulos que son recibidos por los diferentes sentidos (visual, auditiva, táctil,...).

Cuando participamos en cualquier tipo de deporte y/o competición, el jugador realiza un gran número de acciones bajo un determinado estrés fisiológico, el cual puede ser muy cambiante debido a que, los deportistas, con el paso del tiempo tras la realización de un esfuerzo físico, van recuperando su estado metabólico y fisiológico de reposo progresivamente (Bessa et al., 2013; Ide et al., 2000). Así pues, las decisiones que se toman en diferentes situaciones están condicionadas por el estado de fatiga y/o activación fisiológica en el que se encuentra el deportista (Moore, Romine, O'Connor y Tomporowski, 2012). Por este motivo, hay que tener en cuenta cómo afecta esta variable

a la hora de estudiar la relación entre la atención y la respuesta motriz en el deporte (Weinberg y Gould, 1995).

2.4.4. Funcionamiento atencional tras la realización de un esfuerzo físico puntual.

Un número importante de estudios han demostrado que la realización de esfuerzos aeróbicos con una duración entre 20 y 60 minutos (') tiene un efecto positivo sobre un gran número de procesos cognitivos inmediatamente después de su finalización (Tomprowski, 2003), como por ejemplo en procesos de inhibición de respuesta, control cognitivo, búsqueda visual, etc, que se describirán más detalladamente a continuación. Una posible explicación de este beneficio sería que el aumento de activación general que induce el esfuerzo físico provoque que los participantes estén mejor preparados para realizar cualquier tipo de acción, concentrarse o resolver problemas complejos que antes de realizar el esfuerzo físico, aunque están por investigar e identificar los parámetros específicos de la actividad aeróbica que afectan positivamente a la función cognitiva (ver Tomporowski, 2003 para una revisión). Por otra parte, también existen estudios en los que se ha observado un empeoramiento de la función cognitiva tras realizar un esfuerzo físico en comparación con la situación de reposo (e.g., Moore et al., 2012) o que simplemente, no han observado efectos (e.g., Tomporowski y Ganio, 2006).

La literatura revisada en base los efectos que produce la realización de un esfuerzo físico puntual sobre el funcionamiento del sistema cognitivo, como se ha citado anteriormente, muestra cierta controversia (ver Lambourne y Tomporowski, 2010). Esto sería debido fundamentalmente a la variedad de protocolos, funciones cognitivas estudiadas, tareas empleadas, etc. (Grego et al., 2004; Tomporowski, 2003). Por ejemplo, se ha observado que después de la realización de un esfuerzo aeróbico se produce un

aumento en el rendimiento en tareas de tiempo de reacción simple, (e.g., Hogervorst, Riedel, Jeukendrup y Jolles, 1996), de búsqueda visual (e.g., Aks, 1998), de computación matemática (e.g., Heckler y Croce, 1992), de toma de decisión complejas (e.g., Marriotte, Reilly y Miles, 1993), y de inhibición de respuesta (e.g., Hogervorst et al., 1996; Tomporowski et al., 2005).

Diferentes estudios (e.g., Audiffren, Tomporowski, & Zagrodnik 2008; Collardeau, Brisswalter y Audiffren 2001) observaron una disminución de los TR tras realizar un esfuerzo físico, pero dicha disminución duró muy poco en el tiempo, es decir, los efectos del esfuerzo sobre la disminución de los TRs tan solo duraron unos minutos tras el cese del esfuerzo físico. Estos autores sugirieron que este patrón de resultados implica que los mecanismos energéticos que impulsan el efecto facilitatorio del ejercicio sobre los TRs dependen estrechamente del esfuerzo físico, debido a que la realización de un esfuerzo físico produce un aumento del “*arousal*” (Kamijo et al., 2004), siendo este el principal causante de la disminución de los TRs (e.g., McMorris y Graydon, 2000). Dicho aumento del “*arousal*” va desapareciendo paulatinamente tras la finalización del esfuerzo físico (Audiffren et al., 2008).

Debido a la importancia que tiene el control ejecutivo sobre el rendimiento deportivo, puesto que juega un papel fundamental en la resolución de muchas situaciones debido a que los jugadores tienen que tomar decisiones (pasar, lanzar o moverse en función de la posición de los compañeros) en un corto periodo de tiempo (Bailey et al., 2008; Boot, Kramer, Simons, Fabiani y Gratton, 2008), es una de las funciones atencionales más estudiadas, aunque con resultados controvertidos. Por ejemplo, Hillman et al. (2009) demostraron que el control ejecutivo de un grupo de niños mejoró después de 20' de caminata en cinta, observándose una mayor precisión en los ensayos incompatibles en una tarea de flancos respecto a la condición de reposo. En esta misma

línea de resultados, Chang y Etnier (2009) observaron un patrón similar de comportamiento del efecto de conflicto tras la realización de un ejercicio de resistencia. Otros autores (e.g., Audiffren et al., 2009; Davranche y Audiffren, 2004), encontraron también esta mejoría, pero a diferencia del estudio anterior, solo cuando los participantes realizaban la tarea cognitiva durante el ejercicio, no tras su finalización. Por otra parte, y en contraposición a los estudios anteriores, Davranche et al. (2009), no encontraron modulación alguna en el funcionamiento del control ejecutivo después de la realización de un ejercicio físico al 75% de la FC de UA.

Hogervost, Riedel, Jeukendrup y Jolles (1996) realizaron un estudio donde participantes con alta condición física (triatletas y ciclistas) realizaron tareas de tiempo de reacción simple y de elección, de tiempo de reacción con incompatibilidad estímulo respuesta, “*finger tapping test*” (test de presión de dedo) y la tarea Stroop de color después de realizar un esfuerzo aeróbico al 75% de la carga de trabajo máxima ($W_{m\acute{a}x.}$). Demostraron que el ejercicio tuvo un efecto positivo en la tarea de tiempo de reacción simple, pero no en la de elección o en el “*finger tapping test*”. Por otro lado, el ejercicio tuvo un efecto positivo en las tareas que requerían de una inhibición de la respuesta aprendida, es decir, se observó una mejora en el rendimiento en las tareas de Stroop de color y en la de tiempo de reacción con incompatibilidad estímulo respuesta.

En cuanto al estudio de la alerta, Smit, Eling, Hopman y Coenen (2005), mediante la utilización de electroencefalogramas (EEG), observaron que después de realizar un esfuerzo moderado (entre 130 y 150 pulsaciones por minuto [ppm]), aumentaba la potencia de los ritmos alpha y beta1, y disminuía el ritmo beta2. Con estos resultados, sugirieron que se producía una mejora en la alerta tónica (vigilancia) inmediatamente después de realizar un ejercicio físico.

Por otro lado y para aumentar la controversia existente en la literatura, Tomporowski y Ganio (2006) investigaron si la realización de un esfuerzo aeróbico de 40' de duración moduló el control ejecutivo o la memoria a corto plazo. Al contrario de los estudios anteriormente citados, no se observó ninguna modulación en el funcionamiento del control ejecutivo y de la memoria a corto plazo por la realización de un esfuerzo aeróbico.

Refiriéndonos a los efectos negativos tras la realización de un esfuerzo físico sobre el rendimiento atencional, un estudio reciente (Moore et al., 2012) demostró que tras realizar un esfuerzo de 60' al 90% del umbral ventilatorio (UV), los participantes mostraron un empeoramiento en una tarea de discriminación visual compleja en comparación a la tarea de discriminación visual simple y con la condición de reposo. Los autores demostraron que se producía un empeoramiento en el rendimiento cognitivo por la fatiga general producida por el esfuerzo realizado, pero al igual que otras investigaciones (ver Tomporowski 2003, para una revisión) sin detallar los aspectos que a nivel cognitivo o fisiológico (i.e., cambios provocados por la realización del esfuerzo) han inducido esta disminución en el rendimiento. Sugieren, que sería necesario conocer detalladamente como la intensidad, duración o el tipo de esfuerzo realizado repercuten en el consumo de recursos metabólicos y cognitivos, y como este hecho puede afectar a los mecanismos que determinaran el futuro rendimiento atencional.

Una de las explicaciones más utilizadas para justificar el deterioro o empeoramiento del funcionamiento atencional provocado durante la realización de un ejercicio físico puntual, y unos pocos minutos después de realizar el esfuerzo, ha sido la denominada “hipótesis de la hipofrontalidad transitoria” (Dietrich, 2006). Según esta hipótesis, cuando un participante realiza un esfuerzo físico de cierta intensidad, éste consume una gran cantidad de recursos metabólicos para mantener el nivel de

funcionamiento de las áreas cerebrales involucradas en el procesamiento motor. Esto provoca que haya un déficit de recursos metabólicos disponibles para otras regiones cerebrales encargadas del procesamiento cognitivo, induciendo a su vez una disminución en el rendimiento de ciertas funciones, y más concretamente en la red de control de ejecutivo (Dietrich, 2003, 2006).

Por otra parte, este deterioro del rendimiento atencional debido a la realización de esfuerzos físicos, también se ha intentado justificar en base al “*arousal*” o activación provocada por la realización de esfuerzos físicos puntuales. Concretamente en base a la teoría de la U invertida (Duffy, 1972; Schmidt, 1988), la cual apoya la idea de que en aquellas condiciones en las que la duración o intensidad del ejercicio provocan un aumento del nivel de activación por encima del punto/zona de funcionamiento óptimo descrito anteriormente (Chmura et al., 1994), se observaría un perjuicio en el funcionamiento de diferentes procesos cognitivos. Sin embargo, un aumento del “*arousal*” hasta el punto óptimo, sin sobrepasarlo, tendría un efecto positivo sobre el funcionamiento atencional puesto que conllevaría un aumento en el flujo sanguíneo cerebral y el consiguiente incremento en los niveles de neurotransmisores, catecolaminas y/o endorfinas (ver Brisswalter, Collardeau y Arcelin, 2002 para una revisión), así como en los niveles glucosa, O₂ o sustratos energéticos (Ide et al., 2000).

Con todo lo descrito anteriormente y a los efectos sobre el funcionamiento del sistema atencional que han observado algunos estudios después de realizar un esfuerzo físico, podemos suponer, como describe Dietrich y Audiffren (2011), que los efectos del esfuerzo sobre el funcionamiento cognitivo perduran cierto tiempo, aunque como ya se ha mencionado anteriormente quedan muchas preguntas por resolver, como por ejemplo, ¿A qué funciones cognitivas les afecta en mayor medida? ¿Cuánto tiempo perduran dichos

efectos? ¿Cómo afecta las características de la muestra seleccionada? ¿Y la duración e intensidad del esfuerzo realizado?

Todas estas cuestiones tienen difícil respuesta, puesto que la literatura en este sentido es muy controvertida, debido a, como se ha descrito en los apartados anteriores, la gran cantidad de protocolos utilizados (Grego et al., 2004; Tomporowski, 2003), por lo que futuras investigaciones serán necesarias para dar una respuesta concreta a estas cuestiones.

Siendo la orientación espacial la principal función estudiada, pasaremos a detallar el estado de la literatura en torno a los efectos de la realización de un esfuerzo físico sobre dicha función.

2.5. Esfuerzo físico puntual y orientación atencional espacial.

En diferentes situaciones deportivas, como por ejemplo en un lanzamiento en balonmano, el portero intentará orientar su atención hacia aquellos estímulos (posición del lanzador, brazo dominante, posición de sus compañeros, etc.) que le puedan dar información relevante para averiguar hacia dónde se dirigirá el lanzamiento del adversario. En este caso el portero activará la orientación atencional endógena, ya que se orienta hacia un lugar en el espacio en función de sus expectativas y metas (Ruz y Lupiáñez, 2002). Por otro lado, imagine una situación en la que un jugador de tenis se encuentra preparando su saque, y que unas décimas de segundo antes de golpear la pelota, en la cual está centrando su atención, un miembro del público que se encuentra en su campo visual se levanta y captura la atención del sacador, distrayéndolo y por tanto, repercutiendo en su ejecución final. En este caso se ha activado la orientación espacial exógena, debido a que el jugador ha procesado la información procedente de un lugar donde ha aparecido un estímulo nuevo e inesperado (Corbetta et al., 2008). Por tanto,

consideramos relevante el estudio del funcionamiento de la orientación atencional espacial puesto que es una función de gran utilidad y repercusión directa en el rendimiento del deportista.

Posteriormente se realizará una breve revisión del estado actual de conocimiento en el ámbito de la relación entre el ejercicio físico puntual y la orientación espacial tanto endógena como exógena.

2.5.1. Esfuerzo físico puntual y orientación espacial endógena.

La literatura existente en torno al estudio de la relación entre la realización de un ejercicio físico puntual y la orientación espacial endógena no es muy abundante. En esta línea son dignos de resaltar los trabajos realizados por Pesce y colaboradores (Cereatti, Casella, Manganelli, & Pesce, 2009; Pesce, Capranica, Tessitore y Figura, 2002; Pesce, Capranica, Tessitore y Figura, 2003; Pesce, Casella y Capranica, 2004; Pesce, Cereatti, Casella, Baldari y Capranica, 2007a; Pesce, Cereatti, Forte, Crova y Casella, 2010; o Pesce, Tessitore, Casella, Pirritano y Capranica, 2007b). Estos autores, modificando el paradigma de “*cueing*” espacial de Posner et al. (Posner, Snyder y Davidson, 1980), utilizaron señales periféricas contra-predictivas (la señal indica con una alta probabilidad [en este caso un 80%] el lugar contrario donde aparece el estímulo objetivo) para analizar el efecto del ejercicio físico sobre la orientación atencional endógena. El estímulo objetivo se manipulaba mediante la utilización de diferentes niveles de procesamiento (global vs. local)³ (ver Figura 15).

³Estímulo global son aquellas características globales del estímulo, mientras que el estímulo local son aquellos elementos locales que componen el estímulo global (e.g., una letra H grande [estímulo global] formada por letras E, F pequeñas [estímulo local])

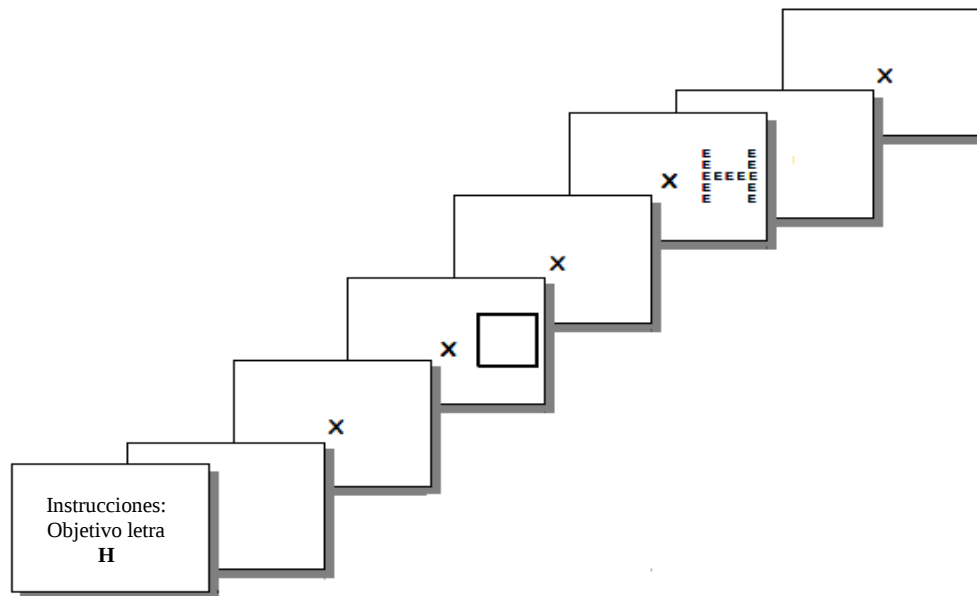


Figura 15: Tarea atencional empleada por Pesce et al. (2002) para medir la reorientación atencional.

Empleando esta tarea durante un ejercicio físico al 60% del VO_2 máx, Pesce et al. (2002) mostraron que durante el esfuerzo, el efecto de la señal de aviso era mayor cuando el objetivo era global que cuando era local. Sin embargo, en reposo se observó la tendencia contraria en la que el efecto de la señal era mayor cuando el estímulo objetivo era local. Cabe destacar que en ninguno de los estudios anteriormente citados, empleando diferentes muestras poblacionales (e.g., deportistas expertos y no deportistas, niños y adultos, etc.) se ha descrito efecto alguno de la señal endógena (i.e., efecto “cueing”), sino que lo que han observado los autores es un efecto del esfuerzo sobre las diferencias en el cambio del foco atencional de las características locales a las globales del objeto o viceversa. Por tanto, y aunque no es objeto de nuestro estudio, hasta el momento no podemos conocer con precisión si el ejercicio físico modula directamente la orientación espacial endógena, o depende, por un lado del tipo de estímulo objetivo (global-local en este caso) o de las propias características de la tarea atencional (e.g., cambio de foco atencional).

2.5.2. Esfuerzo físico puntual y orientación espacial exógena.

En cuanto a los estudios referentes al comportamiento de la orientación espacial exógena tras o durante la realización de un ejercicio físico puntual, en la literatura revisada tan solo hemos encontrado dos artículos que hayan estudiado dicha relación. En primer lugar Sanabria et al. (2011), único estudio que ha investigado los efectos sobre la orientación espacial exógena tras realizar un esfuerzo físico puntual, usando una tarea de discriminación en tres condiciones distintas de actividad (reposo, durante la realización de un esfuerzo aeróbico (85% del UA) y después de haber finalizado el esfuerzo y recuperar hasta la FC de reposo), observaron que la IR desaparecía y la facilitación disminuía en las condiciones durante el esfuerzo y posterior al esfuerzo con respecto a la sesión de reposo. Esto llevó a los autores a concluir que el ejercicio aeróbico aumentaba la capacidad de los participantes para redirigir la atención espacial hacia lugares que habían sido previamente atendidos.

Por otro lado Huertas, Zahonero, Sanabria y Lupiáñez. (2011) estudiaron la influencia del esfuerzo físico sobre las redes atencionales de orientación, alerta y control ejecutivo en una muestra de ciclistas expertos. Los participantes completaron la tarea atencional ANT-I (Callejas, Lupiáñez y Tudela, 2004) en reposo, durante la realización de un esfuerzo al 80% del UA y durante la realización de un esfuerzo al 95% del UA. Estos autores observaron únicamente una reducción de la magnitud del efecto de alerta durante la realización del esfuerzo al 80% del UA respecto a la condición de reposo. Al contrario que en el estudio de Sanabria et al. (2011), no se observó ningún efecto del esfuerzo físico sobre la orientación espacial exógena.

Después de haber expuesto en base a la literatura previa revisada el estado actual del conocimiento entorno a la relación entre algunas de las principales funciones

atencionales y la realización de esfuerzo físicos puntuales, en el siguiente apartado plantearemos los objetivos e hipótesis que se persiguen con la realización de la presente tesis doctoral.

III. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Objetivos e Hipótesis.

Como se ha descrito anteriormente, la literatura muestra cierta controversia en los hallazgos relativos a los efectos que producen los esfuerzos físicos puntuales sobre la orientación espacial exógena de la atención y otras funciones atencionales.

La presente tesis doctoral se plantea con el propósito de intentar aportar nuevas evidencias que traten de ampliar y clarificar el conocimiento existente en lo relativo a los efectos específicos del ejercicio físico sobre el funcionamiento atencional, y más concretamente sobre la orientación atencional exógena, siendo este nuestro objetivo principal de estudio.

Como objetivos específicos, pretendemos aportar nuevas evidencias que nos permitan conocer el modo en que los esfuerzos físicos puntuales modulan el funcionamiento de la orientación espacial exógena. Además nos interesa profundizar en el conocimiento de si estas relaciones entre ejercicio físico puntual y la orientación espacial exógena están mediadas por las características específicas del esfuerzo realizado (e.g., intensidad).

Hallazgos de estudios previos indican que la mayor distribución de recursos metabólicos y el estrés fisiológico inducido por la realización de esfuerzos de alta intensidad provocan mayores efectos sobre diferentes funciones cognitivas y/o atencionales (Chang et al., 2012; McMorris y Hale, 2012). Por otra parte, otros indican que esfuerzos de corta duración prácticamente no producen efectos sobre el rendimiento cognitivo (Chang et al., 2012), y que los cambios en el metabolismo cerebral provocados por la realización de esfuerzos físicos difieren según su duración (Tomprowski, 2003). Así, en nuestro primer experimento, debido a la utilización de un esfuerzo intenso, esperamos encontrar una reducción de los efectos atencionales de facilitación e IR. En este

estudio, los participantes realizaban la tarea atencional en reposo, inmediatamente después de realizar un esfuerzo intenso de 5 minutos al 100% del UA y tras la realización del mismo esfuerzo y recuperar la FC de reposo.

Por lo que respecta a nuestro segundo estudio, esperamos observar una mayor reducción de los efectos de facilitación e IR respecto al primer experimento, debido al aumento en la duración del esfuerzo. En este estudio, los participantes realizaban la tarea atencional en reposo e inmediatamente después de realizar un esfuerzo de 15 minutos al 85% y otro al 100% del UA.

Por otra parte, y debido a la progresiva vuelta al estado de equilibrio de los distintos sistemas fisiológicos y metabólicos (Bessa et al., 2013; Ide et al., 2000), esperamos observar que los efectos inducidos por el esfuerzo físico sobre la orientación espacial exógena vayan reduciéndose tras la finalización del ejercicio, conforme los participantes vayan recuperando su nivel de estado funcional de reposo.

Con el objetivo de solventar estas cuestiones y verificar nuestras hipótesis se planteará una serie experimental compuesta por distintos estudios que intentarán aportar respuestas parciales a cada una de las cuestiones planteadas.

IV. EXPERIMENTAL SERIES

Introduction

The relation between exercise and cognitive performance is a current topic of research (see Hillman et al., 2008; McMorris et al., 2009). Sports players' ability to capture the relevant environmental information is an important factor to determine their future efficiency in sports performance (position of the ball, surrounding players, coaches' orders, etc). These abilities are strongly mediated by spatial attention (see Weinberg & Gould, 1995).

Spatial orienting of attention selectively allocates attention to a potentially relevant location in the visual field to enhancing stimulus-relevant processing whilst ignoring objects that are irrelevant for the task at hand (e.g., Reynolds & Chelazzi, 2004). Attentional orienting to a target stimulus (object or person) may be either voluntarily guided by the person according to expectations of relevant locations and object features ("voluntary" or "endogenous" attentional orienting), or take place in a reflex manner due to the salient properties of stimuli (e.g., colour, form, size, location ...). This latter mode of attentional orientation is often referred to as "attentional capture," "reflexive," or "exogenous" attentional orienting (see Corbetta, Patel, & Shulman, 2008, for a review).

Exogenous spatial attention plays an important role in facilitating the information processing previous to future action (see Nougier & Rossi, 1999 for a review). Sport environment is perceptually complex, therefore, exogenous spatial attention can affect the efficient performance of sports players in some sports competitions. Crucially, in sports competition, like in basketball or football, a player performs after intense efforts resulting in the deployment of exogenous attention under physiological stress. Imagine a handball player who gets ready for a penalty kick and at

the same time one member of the audience makes a photo with flash. The flash could capture his attention affecting his efficient performance. But sport is not the only context in which exogenous attention might be captured under the influence of moderate or intense exercise. For instance, in large cities, it is not unusual to see people walking fast, or even running, to get in their cars when they are late for work. In these situations, their spatial attention while driving could be captured by unexpected, and potentially relevant, events (e.g., a car horn) while still under the effects of physiological activation induced by that fast walk or run. Since both cognitive and acute physical activity demand and consume (brain) metabolic resources (Dietrich, 2003; 2006) it is relevant to investigate the interaction between them.

For the above-mentioned reasons, we suggest that it is important to investigate the functioning of exogenous spatial attention under physiological stress induced by acute exercise. With this information, the coaches could adapt training programs to improve the attentional deficits that may be found.

To the best of our knowledge, there are only two studies that have investigated the relationship between exercise and the functioning of exogenous spatial attention (Huertas et al., 2011 and Sanabria et al., 2011). In Sanabria et al. study participants performed an exogenous spatial attention task at rest, during moderate aerobic exercise (corresponding at 88% of their anaerobic threshold [AT]) and after recovering their basal heart rate (HR) following an acute bout of moderate aerobic exercise. They showed reduced attentional effects (i.e., facilitation and inhibition of return [IOR]) when participants performed the spatial orienting task while pedaling and also after recovering their basal HR from an acute bout of aerobic exercise. Note that Sanabria et al., only used an intensity corresponding to the 88% of their participants AT (i.e., moderate aerobic exercise). On the other hand, Huertas et al., investigated the effects of

two different physical exercise intensities levels on three attentional functions: orienting (exogenous), alertness (phasic) and executive control. Their participants performed the Attentional Network Test-Interactions (ANT-I; Callejas et al., 2004) at rest and while cycling at moderate aerobic (i.e., 80% of their participants AT) and intense aerobic exercise (i.e., 95% of their participants AT). Their results only showed a modulation of alertness by acute bout of effort. Contrary to Sanabria et al., they did not find any effect of physical effort on exogenous spatial attention. In light of these results, it is unclear whether the functioning of exogenous attention can be affected by acute exercise.

Previous studies indicate that exercise intensity is an important variable to determine the effects of an acute bout of exercise on cognitive performance (see Lambourne & Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003 for a review). One of the most important hypotheses about the relation between cognitive performance and physiological response to acute exercise is the hyperbolic U-shape (Chmura et al., 1994, 2002; Duffy's, 1972), whereby cognitive performance increases with the activation of the sympathetic nervous system, increments of the levels of catecholamine's and arousal of the Central Nervous System (CNS) until reaching an "optimal point". If these parameters do not reach or exceed this optimal point or zone the cognitive performance level is not optimal. These authors located the "optimal point" at workload intensities slightly above AT. Therefore, with moderate exercise intensities below or slightly above AT, generally, studies showed an improved cognitive performance, contrary to higher intensities which exceed the optimal point in which impairment on cognitive performance is shown (see Tomporowski, 2003 for a review). Regarding the magnitude of the effect of exercise on cognitive performance, some studies (e.g., McMorris & Hale, 2012) have demonstrated that cognitive performance is enhanced as the exercise intensity increases. It is thought that physiological changes (i.e., HR, plasma levels of

epinephrine and norepinephrine...) that affect the deployment of cognition are larger at higher intensities than changes produced by moderate exercise intensities (McMorris & Hale, 2012).

Continuing with the review of the relationship between exercise and cognition, it is important to note that both cognitive and physical activity consume shared metabolic resources (Chang et al., 2012; Dietrich, 2003, 2006). Physical exercise requires larger amounts of metabolic resources and brain resources as the time and intensity increase (Lambourne & Tomporowski, 2010), therefore leaving fewer resources available for cognitive processing.

At present, and due to the scarce empirical evidence, it is unclear whether the effects on deployment of the exogenous spatial attention by an acute bout of efforts depend of exercise intensity, the type of the attentional task, etc. For instance, Sanabria et al. (2011) used an exogenous spatial attention task and an intensity approximately at 85% of their participants AT and Huertas et al. (2011) study used the ANT-I attentional task and two different intensities approximately at 80% and 95% of their participants AT showing discrepant results.

Experiment 1

Effect of short bout of intense effort on exogenous spatial attention

In Experiment 1, we used an intense aerobic exercise because in sports context, like basketball, football, or handball, athletes frequently perform under high intensity levels (e.g., McInnes, Carlson, Jones, & McKenna, 1995). University students performed the spatial attention task at rest, after 5' bout of intense aerobic exercise (100% of AT), and after recovering the basal HR following a 5' bout of intense aerobic exercise to investigate the temporal course of the effects. Since any metabolic change and physiological stress induced by acute intense effort gradually disappears after exercising (Bessa et al., 2013) we considered the variable Time-on-task (i.e., recovery period) in our analyses.

In order to accomplish our aims, we used an exogenous cueing task (e.g., Posner et al., 1980) whereby a spatial cue (an empty square) presented either at the left or right of a centrally presented fixation point was followed by the target stimulus (e.g., a letter X or O). We manipulated the stimulus onset asynchrony (SOA) between the cue and the target in order to obtain the typical facilitation (i.e., faster RTs at cued than at uncued locations at the short SOA; see Funes & Lupiáñez, 2003) and the IOR effects (i.e., faster RTs at uncued than at cued locations; see Lupiáñez, 2010, for a review on this topic).

We predict that the magnitude of exogenous spatial attention effects (i.e., facilitation at short SOA and IOR at long SOA effects) will be reduced immediately after 5' of intense aerobic exercise.

Method

Participants.

Eighteen male⁴ undergraduate students (19-28 years old; Mean (*M*) ± Standard Deviation (*SD*) = 22 ± 2 years old), from the Faculty of Physical Education and Sport (Catholic University of Valencia, Spain) participated in this study. All participants gave informed consent prior to their inclusion in the experiment (see Annex 2), were fully aware of the protocol, and reported practicing cycling and physical activity between 2 and 4 hours per week, respectively. They had normal or normal to corrected vision, and no known neuropsychological impairment. This experiment was performed under the ethical approval of the local committee.

Apparatus, materials, procedure and design.

A Cardgirus Medical Pro cycle ergometer (Cardgirus Medical, G&G Innovación, La Bastida, Alava, Spain) was used to determine the AT and during the experiment proper to control effort in the sessions. We used a RS800CX Polar monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) to record the HR and a Lactate Pro lactate test meter and Lactate Pro strips (Arkray, Inc., Japan) to measure participant's level of blood lactate accumulation during the threshold and experimental sessions. A 15" laptop PC was used to present the stimuli in the spatial task. Also we used a ventilation system (Taurus Tropicano, Lleida, España) to avoid problems of thermoregulation and a weather station (Geonaute WS900). The stimulus presentation and response collection was controlled via the E-Prime Software (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002) (see Figure 16).

⁴We used only males to control for any gender difference in the variables measured here. In effect, some studies demonstrated that females and males differ in performance on various cognitive tasks (see Pesce, Casella, & Capranica, 2004; Voyer, Voyer, & Bryden, 1995, for a review).

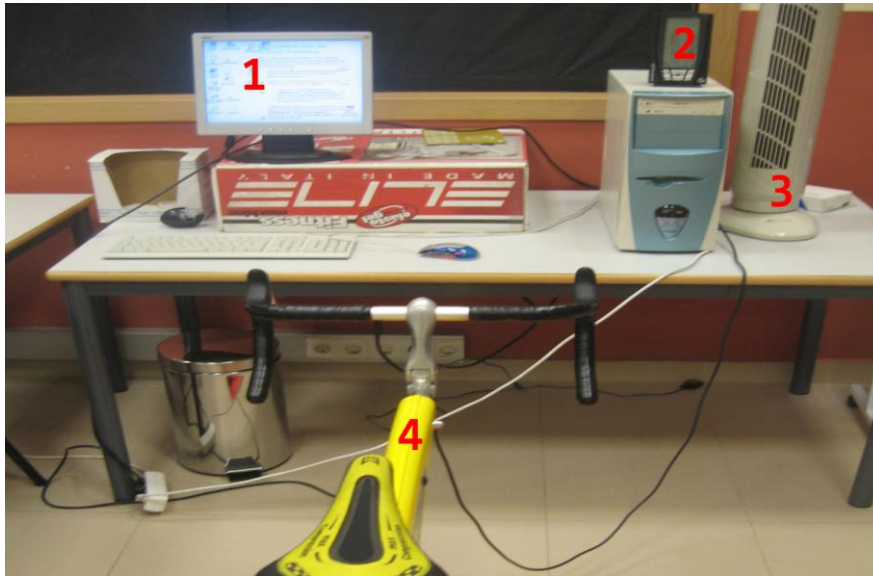


Figure 16: Set up to perform the effort used in the Experiment 1. 1) Cycle ergometer PC. 2) Weather Station. 3) Ventilation System. 4) Cycle ergometer Cardgirus Medical.

Participants completed four sessions in four separate days (with 2 to 5 days between sessions). In the first sessions, participants performed a submaximal exercise test to obtain their AT by analyzing the blood lactate concentration (following Craig et al., 2000) and they completed a short version of the attentional task to familiarize with it. Before starting this session, each participant rested for 10 min and then his HR was annotated. Participants performed the exogenous spatial task in three different sessions: at rest (rest), after intense aerobic exercise (post-effort), and after intense aerobic exercise once the participant had recovered his basal HR (after recovery). The order in which the three sessions were performed was counterbalanced across participants.

At the rest condition, participants were not subject to any effort prior to the attentional task. In the post-effort condition, participants completed the task immediately after (i.e., less than 1', the time they took to get off the cycle ergometer, to sit in front of the computer and to start the task) cycling 5 min at the 100% of their AT. At the after recovery condition the task was performed after completing the same bout

of effort and recovering and stabilizing the HR. The task was divided in 8 blocks (1 practice and 7 experimental blocks) of 36 trials, including 4 catch trials, in which the target was not presented to prevent response anticipations. Response feedback was given only in the practice block. Participants' completed the practice block before the intense exercise in the two effort (post-effort and after recovery) conditions. During the three sessions, participants were seated in front of the laptop at 60 cm and completed the task in a silent and dimly illuminated room (see Figure 17).



Figure 17: Set up to perform the attentional task used in the Experiment 1.

The exogenous spatial attention task consisted in the presentation of a cross ($0.4^{\circ} \times 0.4^{\circ}$) that served as the fixation point displayed in light grey colour situated in the centre of the PC screen, and two boxes ($3.80^{\circ} \times 4.80^{\circ}$), one to the left and one to the right of the fixation point (at 5.5° centre to centre), presented in grey colour. Both the boxes and the fixation point remained on and steady for the total duration of the trial. The cue was then presented for 50 ms and consisted in the highlight in white of the border of one of the boxes, either the right or the left box. Following the presentation of

the cue, the target (an X or an O; 1°) appeared for 100 ms at the centre of one of the boxes and after a SOA of either 100 or 1000 milliseconds (ms). Each SOA had the same probability of occurrence. The target could appear at the cued location (cued trials) or at the uncued location (uncued trials) with the same probability. Half of the participants were instructed to respond with the “Z” letter button to the X letter and with the “M” letter button to the O letter. The reverse stimulus-response assignment was used for the remaining half of the participants. The response window was set to 1900 ms and the time between trials was 760 ms (see Figure 18). Prior to the start of the attentional task, the participants were instructed to fixate the fixation cross, try to not move their eyes (i.e., covert attention; Posner, 1980), and respond as fast as possible trying to avoid errors.

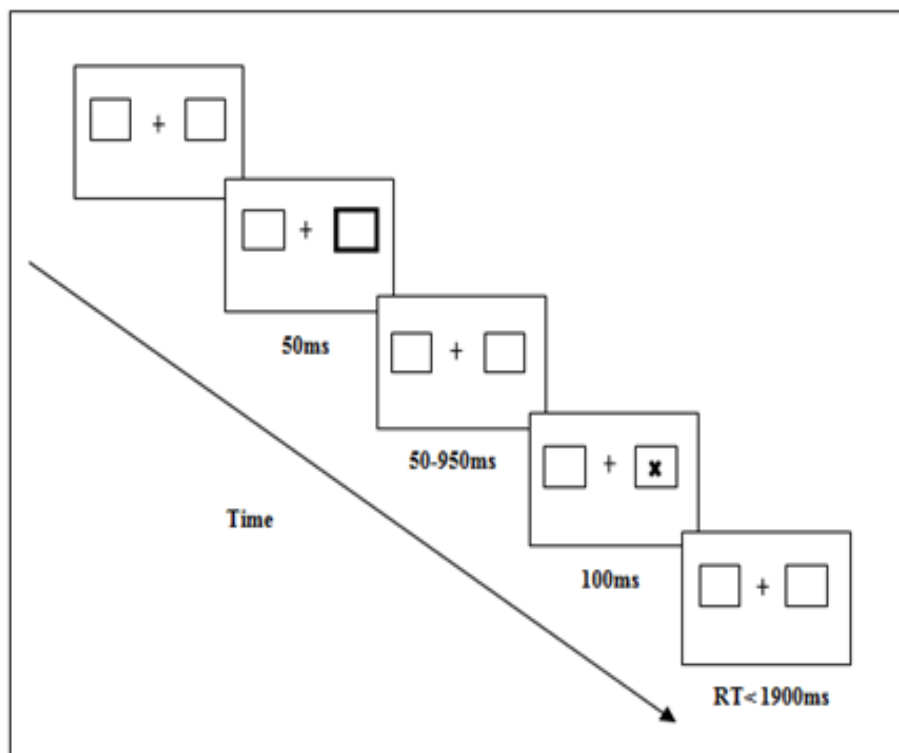


Figure 18: Schematic view the exogenous spatial attention task used in the present study.

Submaximal exercise test.

Prior to start of the test, the HR monitor was adjusted to the participant's chest and the ergometer was set to the individual anthropometric characteristics. Participants were instructed to maintain a constant cadence between 60-100 rev $\cdot$ min⁻¹. The warm-up started at 50 watts (W) and the power was increased 25 W every 2'. The test began at 100 W, and power was increased 30 W every 3'. The level of lactate accumulation was measured during the 10'' before every power increased. Power output and HR at the participant's AT was defined as the power and HR elicited by the stage prior to the AT. The test ended when participant acknowledged voluntary exhaustion, could not maintain the minimum cadence of 60 rev $\cdot$ min⁻¹, or when his HR reached the 95% of his theoretical maximum HR (HR_{max}) obtained from: $HR_{max} = 208 - 0.7 \cdot \text{Age}$ (Tanaka Monahan, & Seals, 2001).

Submaximal exercise at constant intensity in the experimental conditions.

At the post-effort and after recovery conditions, after 2' warm-up at 75 W and 2' at 100 W, the effort began at 130 W and the power was increased 30 W every 3' until the participant reached 100% of his HR of AT. The mean time from the beginning of the effort until participants reached the AT was $8' \pm 2'$. Once the participant had reached the HR and power output corresponding to his AT, he was instructed to continue pedalling at constant cadence 60-100 rev $\cdot$ min⁻¹ for 5' (mean duration of the effort, $13' \pm 3'$).

Results

Physiological data analysis.

T-tests with the participants' mean HR at the start of the task between the post-effort (144 beats per minute [bpm]) and rest conditions (71 bpm) and between post-effort and after recovery conditions (78 bpm) showed statistically significant differences ($t(17) = 17.66, p < .001$, and $t(17) = 18.94, p < .001$, respectively). The difference in HR between rest and after recovery conditions was not significant, $t(17) = -1.92, p = .06$. *T*-tests with the mean of participants' basal HR at the start of the experimental session between the post-effort condition (72 bpm) and rest condition (69 bpm), between post-effort and after recovery conditions (71 bpm) and between after recovery and rest conditions did not show statistically significant differences [$t(17) = 1.81, p = .09$; $t(17) = 0.39, p = .69$; $t(17) = 1.15, p = .27$, respectively].

The mean power output (post-effort = 128 ± 21 W; after recovery = 127 ± 21 W) and the lactate accumulation (post-effort mean = 4.0 ± 1.3 mmol $\cdot$ L⁻¹; after recovery mean = 3.7 ± 1.2 mmol $\cdot$ L⁻¹) between the post-effort and after recovery conditions during the acute bout of exercise prior to the attentional task were not significantly different [power output, $t(17) = 0.13, p = .89$; lactate accumulation, $t(17) = 0.57, p = .57$] (see Table 1).

Table 1: Mean and standard deviation of the physiological characteristics of participants in the three Sessions. Note: Mean HR (bpm), HR when participants' started the attentional task.

		<i>M ± SD</i>	<i>% AT</i>
AT's Parameters	Lactate Accumulation (m mol • L ⁻¹)	3.53 ± 1	100
	Power output (W)	140 ± 34.64	100
	Relative power output (W•Kg)	1.96 ± 0.4	100
	HR (beats. * min)	146 ± 14	100
	% HR max.	78.57 ± 7.2	--
Post-effort	Lactate Accumulation (m mol • L ⁻¹)	4.07 ± 1.38	108.04 ± 23.74
	Power output (W)	128 ± 21.88	87.91 ± 10.90
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	1.68 ± 0.2	91.3 ± 10.87
	HR (beats. * min)	144 ± 10	73.87 ± 3.88
	% HR max.	57.99 ± 5.46	--
Rest	Lactate Accumulation (m mol • L ⁻¹)	--	--
	Power output (W)	--	--
	HR (beats. * min)	71 ± 15	48.82 ± 9.70
	% HR max.	38.31 ± 7.99	--
After recovery	Lactate Accumulation (m mol • L ⁻¹)	3.77 ± 1.20	107.77 ± 27.76
	Power output (W)	127 ± 21.88	87.23 ± 10.42
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	1.67 ± 0.2	90.7 ± 9.2
	HR (beats. * min)	78 ± 10	54.01 ± 5.47
	% HR max.	42.37 ± 5.07	--

Behavioural analyses.

Incorrect responses (7.36%) in which participants did not press de correct button, trials with RT below 200 ms were considered anticipatory (cf. Luce, 1986) and above 1000 ms were regarded as misses (cf. Lupiáñez, Ruz, Funes, & Milliken, 2007) (3.59%) and data from the practice block were eliminated from the analyses (see Table 2).

Table 2: Mean RT and standard error (ms) and percentage of errors (between parentheses) as a function of Session (post-effort, rest and after recovery), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued).

SOA	Post-effort		Rest		After recovery	
	100	1000	100	1000	100	1000
Cued	546 ± 21 (6.8)	551 ± 22 (6.7)	543 ± 17 (7.4)	547 ± 19 (7.9)	554 ± 19 (6.9)	556 ± 20 (9.2)
Uncued	554 ± 21 (8)	539 ± 21 (6.1)	554 ± 18 (7.8)	533 ± 17 (6.5)	555 ± 18 (9)	537 ± 17 (6.5)

In order to obtain a valid number of observations per condition in the Time-on-task factor the data from the seven experimental blocks were collapsed in three levels (1 = blocks 1-2; 2 = blocks 3-4; 3 = blocks 5-7). Participants' mean RTs in each condition were introduced into a Session (rest, post-effort, after recovery) x Time-on-task (3) x SOA (100, 1000) x Cueing (cued, uncued) repeated measures analysis of variance (ANOVA). Since neither the main effect of Time-on-task nor any of the interaction involving the factor Time-on-task reached statistical significance (all $ps > .1$) we collapsed the data by this factor.

The ANOVA with the factors of Session, SOA and Cueing revealed a significant interaction between SOA and Cueing, $F(1, 17) = 12.41$, $p = .003$, $\eta^2 = 0.42$. Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.025$) showed faster RTs at cued than uncued trials at the 100 ms SOA (facilitation effect), $F(1, 17) = 6.50$, $p = .02$, $d = 0.42$ and faster RTs at uncued than cued trials, $F(1, 17) = 10.39$, $p = .005$, $d = 0.87$ at the 1000

ms SOA (IOR effect) (see Figure 19)⁵. None of the remaining terms in the ANOVA was significant (all $ps > .05$).

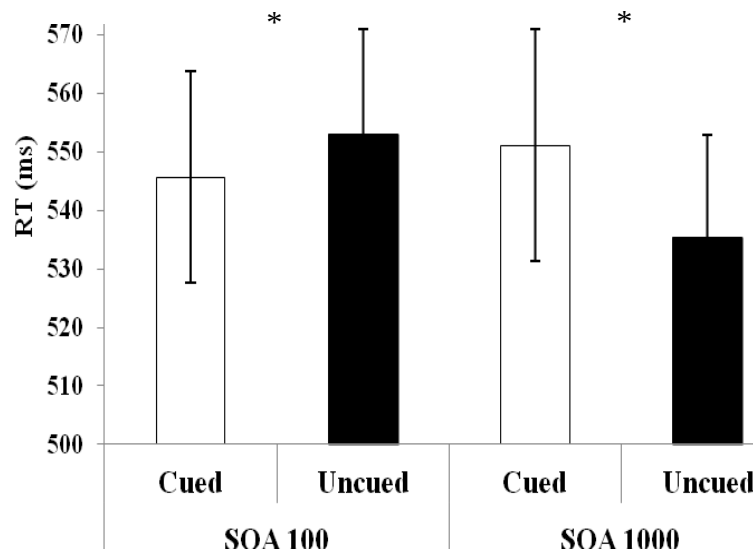


Figure 19: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000). * $p < .05$

A similar ANOVA on participants' response accuracy revealed a significant interaction between SOA and Cueing, $F(1, 17) = 7.94$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.32$. Our results replicate the typical facilitation and IOR effects.

⁵The analysis was repeated considering the proportional RT as dependent variable, i.e., mean RT for each condition and participant divided by the mean overall RT for that participant. The results mimicked those reported in the main text, with a significant interaction between SOA, and Cueing, $F(1,17) = 12.23$, $p = .003$, $\eta^2 = 0.41$. Therefore, for the sake of simplicity, we decided to report uncorrected mean reaction time.

Discussion

The main question raised in this study was whether a short bout of intense exercise would affect subsequent performance in an exogenous spatial attention task. Participants completed an exogenous spatial task at rest (without a previous effort), after 5' bout of intense aerobic exercise (100% of AT), and after recovering the basal HR following a bout of intense aerobic exercise. The results did not show any effect of intense aerobic exercise on the deployment of exogenous spatial attention.

We failed to replicate the findings reported by Sanabria et al. (2011) who showed a reduction on exogenous attentional effects under physiological stress caused by acute exercise. It is plausible that 5' of exercise at 100% of AT was not sufficient to increase the physiological demands to show the effects of an acute bout of intense exercise on exogenous spatial attention. In effect, some studies have shown that exercise duration is an important moderator of the effects of exercise on cognitive performance (see Lambourne & Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003).

Exercise is known to produce increased cerebral blood flow, plasma levels of substances as epinephrine and norepinephrine, etc., and used metabolic resources (Chang et al., 2012) which have been linked to cognitive function (Chmura et al., 1994). The rate of production of these substances and the metabolic resources used differs for long or short bouts of exercise (Tomporowski, 2003). For this reason, our results might suggest that 5' of intense exercise was not sufficient to show the effects on exogenous spatial attention.

The intensity of exercise is also an important moderator on the effects of cognitive performance by acute effort (see Lambourne & Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003 for a review). Regarding the differences between Experiment 1,

Sanabria et al.'s and Huertas et al.'s study in terms of intensity and the discrepancy between results, in Experiment 2 we manipulated the intensities (i.e., we used two different intensities, moderate and intense aerobic intensities) to clarify the effects of different intensities on the deployment of the exogenous spatial attention, and we increased the duration of the effort. Experiment 2 was designed to test intensity hypotheses. Moreover, we increased the duration of the task in order to maximize the effect of exercise on cognitive performance.

We hypothesized that 15 min of moderate intensity would reduce the magnitude of exogenous spatial attention effects, replicating Sanabria et al.'s results. On the other hand, we hypothesized that 15' of at a high intensity would reduce the magnitude of exogenous spatial attention effects to a larger extent than 15' at a moderate intensity.

Experiment 2

Effects of different intensities of exercise on exogenous spatial attention

A group of university students performed the same attentional task than in Experiment 1 at rest, immediately after an acute bout of intense aerobic exercise (approximately at 100% of their individual ventilatory threshold [VT]), and immediately after an acute bout of moderate aerobic exercise (approximately at 85% of their VT).

Method

Participants.

Eighteen male undergraduate students (age range: 18-22 years old; $M = 19 \pm 2$ years old), from the Faculty of Physical Education and Sport (University of Granada, Spain), participated in this study. Selection criteria included practice cycling and physical activity no more than 4 hours and 8 hours per week, respectively. All participants had normal or corrected-to-normal vision, and no known neuropsychological impairment. All participants gave informed consent prior to their inclusion in the experiment (see Annex 3) and were fully aware of the protocol. This experiment was performed under the ethical approval of the local committee.

Apparatus, materials and stimulus.

The Method of Experiment 1 was replicated except the following. We used a ViaSprint 150 P cycle ergometer (Ergoline GmbH, Germany), adapted to accommodate each participant's height, to perform the effort and to control the power output. A RS800CX Polar monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) was used to monitor the

HR, and a JAEGER Master Screen (CareFusion GmbH, Germany) gas analyser to provide a measure of gas exchange during the sessions. A laptop PC was used to present the stimuli in the exogenous spatial attention task.

Procedure and design.

Each participant completed four sessions in four days separate by a minimum of 1 day and a maximum of 5 days ($M = 2 \pm 1$ day). In the first session, participants performed a short version of the exogenous spatial attention task to familiarize with it and then performed a submaximal exercise test to obtain their VT. First, the HR monitor was adjusted to the participant's chest and the cycle ergometer was set to the individual anthropometric characteristics. The VT protocol consisted of a submaximal incremental effort test. The participants were instructed to maintain a constant cadence between 60-80 $\text{rev} \cdot \text{min}^{-1}$. The warm-up started at 50 W and the workload was increased 25 W every 2' (5 W increased every 10''). The test began at 100 W, and workload was increased 30 W every 2' (5 W increased every 10''). VO_2 (oxygen uptake), CO_2 (carbon dioxide production), expiratory flow, and other respiratory parameters were monitored continuously and averaged every 5''. Also, workload and HR were measured during the entire test. Determination of the VT was based on the Respiratory gas-exchange method (RER) [(RER) = CO_2 production/ O_2 consumption], which detected the VT at the point where RER exceeds the cut-off value of 1.0 (e.g., Yeh, Gardner, Adams, Yanowitz, & Crapo, 1983; Myers & Ashley, 1997). The test ended when participant acknowledged voluntary exhaustion, could not maintain the minimum cadence of 60 $\text{rev} \cdot \text{min}^{-1}$, or when his HR reached the 95% of his theoretical maximum HR (HR_{max}) obtained from: $\text{HR}_{\text{max}} = 208 - 0.7 * \text{age}$ (Tanaka et al., 2001). VO_2 , HR, and workload were annotated and used as indexes of the individual VT (see Table 3).

Participants performed the same exogenous spatial attention task than in Experiment 1 in three different sessions: at rest with no prior physical exercise (rest), immediately after intense aerobic exercise (intense aerobic), and immediately after moderate aerobic exercise (moderate aerobic). In the intense aerobic and moderate aerobic sessions, we used the same protocol described above until the participant reached the 100% of his VT in the intense aerobic session ($M = 102 \pm 8\%$) and the 85% of his VT in the moderate aerobic session ($M = 77 \pm 11\%$). At this moment, they were instructed to continue pedalling at constant cadence between 60-80 revolutions min^{-1} for 15 min, and the experimenter increased or reduced the resistance of the cycle ergometer in order to maintain the participants' HR and VO_2 in the target zone. In both effort sessions, participants completed the cognitive task immediately after cycling 30' approximately (M intense aerobic = $28.34 \pm 3.13'$; M moderate aerobic = $26.22 \pm 4.29'$), 15' to attain at the target zone and 15' more at the target zone. The rest session was conducted using the same protocol as described for the moderate and intense aerobic session, with the exception that the participants' sat on the cycle ergometer but did not exercise.

In the three sessions, participants were seated in front of the laptop at 60 cm approximately and completed the exogenous spatial attention task in a silent and dimly illuminated room. The order in which the next three experimental sessions were performed was counterbalanced across participants.

The experimental design consisted of a within participants design with the factors of Session (rest, moderate aerobic, intense aerobic), Cueing (cued, uncued), SOA (100, 1000).

The task was divided in 1 practice block of 12 trials and 16 experimental blocks of 36 trials, including 4 catch trials, in which the target was not presented to prevent

response anticipations. Participants were given feedback regarding their response accuracy only in the practice block. Participants completed the practice block at the beginning of the experimental session in the three exercise conditions (rest, moderate aerobic and intense aerobic exercise).

Results

Physiological data analysis.

To confirm that the participants completed the attentional task in different physical states as a function of the preceding session (moderate aerobic, intense aerobic, and rest), various planned pairwise comparisons were performed. *T*-tests with the mean of participants' HR before to start the attentional task between intense aerobic and rest session, between moderate aerobic and rest session and between intense aerobic and moderate aerobic session showed significant differences, $t(17) = 14.79, p < .001$, $t(17) = 11.13, p < .001$ and $t(17) = 14.24, p < .001$, respectively. *T*-tests with the mean of participants' power output (W) and VO_2 at the end of the effort between moderate aerobic and intense aerobic session were significant, $t(17) = 16.87, p < .001$ and $t(17) = 12.51, p < .001$, respectively (see Table 3).

Table 3: Mean and standard deviation of the physiological characteristics of participants at AT and in the three Sessions. Note: Mean HR (bpm), HR when participants' started the attentional task.

		<i>M ± SD</i>	% AT
AT's Parameters	VO ₂ (ml•min ⁻¹ •kg ⁻¹)	38.26 ± 3.59	--
	Power output (W)	195 ± 26	--
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	2.65 ± 0.38	--
	Mean HR (bpm)	157 ± 11	--
Rest	Mean HR (bpm)	68 ± 11	43
Moderate Aerobic	VO ₂ (ml•min ⁻¹ •kg ⁻¹)	29.64 ± 4.48	77
	Power output (W)	136 ± 25	70
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	1.84 ± 0.28	69
	Mean HR (bpm)	134 ± 9	85
Intense Aerobic	VO ₂ (ml•min ⁻¹ •kg ⁻¹)	38.84 ± 4.48	102
	Power output (W)	180 ± 31	92
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	2.45 ± 0.34	94
	Mean HR (bpm)	166 ± 9	106

Behavioural analyses.

Incorrect responses (8.42%), trials with RT below 200 ms were considered anticipatory and above 1000 ms were regarded as misses (3.75%) and data from the practice block were eliminated from the analyses (see Table 4).

Table 4: Mean RT and standard error (ms) and percentage of errors (between parentheses) as a function of Session (moderate aerobic, intense aerobic and rest), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued).

SOA	Moderate Aerobic		Intense Aerobic		Rest	
	100	1000	100	1000	100	1000
Cued	505 ± 17 (6.6)	510 ± 18 (7.7)	500 ± 16 (8.4)	507 ± 19 (8.4)	508 ± 18 (8.3)	516 ± 19 (8)
Uncued	513 ± 17 (8.8)	500 ± 17 (8)	506 ± 16 (8.4)	499 ± 18 (8)	520 ± 18 (8.4)	506 ± 18 (8.4)

In order to investigate any change on the attentional effects as a function of the Time-on-task and to obtain a valid number of observations per condition, the data of 16 blocks, were collapsed in 8 levels (1 = blocks 1-2; 2 = blocks 3-4; 3 = blocks 5-6; 4 = blocks 7-8; 5 = blocks 9-10; 6 = blocks 11-12; 7 = blocks 13-14; 8 = blocks 15-16). Mean RTs in each experimental condition were submitted to a 8 x 3 x 2 x 2 repeated measures analysis of variance (ANOVA) with the within-participants factors of Time-on-task, Session (moderate aerobic effort, intense aerobic effort, rest), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued). The ANOVA did not reveal any significant interaction involving Time-on-task factor (all $ps > .12$). We therefore collapsed all blocks to obtain more valid number of observations per condition.

The ANOVA revealed a significant interaction between SOA and Cueing, $F(1,17) = 19.87$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.54$. Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.025$) replicated the typical facilitation effect at the 100 ms SOA showing faster RTs at cued than uncued trials, $F(1,17) = 19.17$, $p < .001$, $d = 0.53$, and the IOR effect at long SOA, observing faster RTs at uncued than cued trials, $F(1,17) = 8.30$, $p = .01$, $d = 0.56$.

(see Figure 20)⁶. None of the remaining terms in the ANOVA was significant (all $ps > .38$). The same ANOVA with the mean error rate did not reveal any significant term (all $ps > .20$).

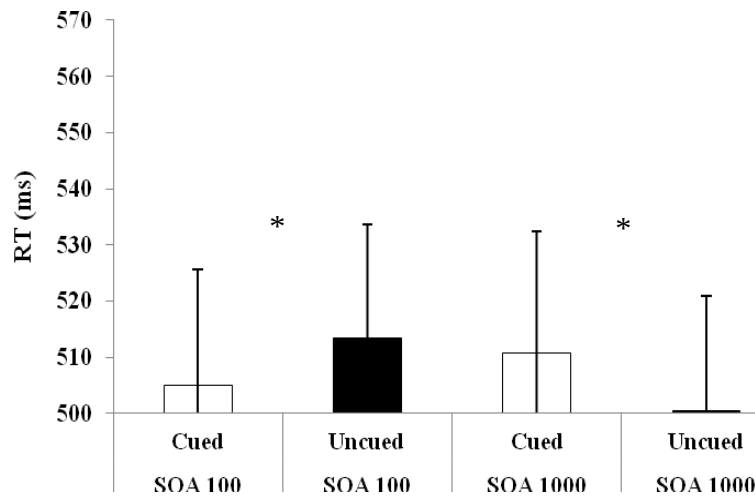


Figure 20: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000). * $p < .05$

Discussion

The primary goal of this study was to examine the exogenous spatial attention functioning after performance of two different steady state exercise intensities defined as intense aerobic exercise (approximately at 100% of their VT) and moderate aerobic exercise (approximately at 85% of their VT) according to the participants' VO_2 , W and HR at their VT compared with the rest session. Participants completed an exogenous

⁶The analysis was repeated considering the proportional RT as dependent variable, The results mimicked those reported in the main text, with a significant interaction between SOA, and Cueing, $F(1,17) = 21.92$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.56$. Therefore, for the sake of simplicity, we decided to report uncorrected mean reaction time.

spatial attention task at rest, immediately after an acute bout of intense aerobic exercise, and immediately after an acute bout of moderate aerobic exercise.

Like in Experiment 1, the results did not show any effect of the intense or moderate aerobic exercise on the deployment of exogenous visual spatial attention. Again, these results contrast with those reported by Sanabria et al. (2011) who showed that the IOR effect disappeared when their participants were exposed to a 20' bout of moderate aerobic exercise. Contrary, we replicated the results obtained by Huertas et al. (2011), who did not show any effect on exogenous spatial attention by an acute bout of effort. The discrepancies between these results are puzzling and difficult to explain.

Before proceeding with the manipulation of others variables that might moderate the relation between exercise and exogenous spatial attention (i.e., type of attentional task, moment of data collection,...), we thought that an important aspect, among others, differentiated Huertas et al.'s and Sanabria et al.'s studies: Huertas et al., tested high-fit cyclists and Sanabria et al., tested university students. A close look to our overall sample of participants revealed a large variability in terms of fitness level.

In this line, it is important to note that physical fitness plays an important role on the effects of physical exercise on cognition (Etnier et al., 1997; Lambourne & Tomporowski, 2010; Pesce, 2009; Tomporowski, 2003, for a review), and previous reviews recommended that aerobic fitness level must be measured and considered into the analyses (Brisswalter et al., 2002; Tomporowski, 2003).

Considering that the metabolic resources in the brain are limited (Dietrich, 2003, 2006), some studies suggest that the differences between participants with low and high aerobic fitness level in cognitive performance during or following exercise might be explained because the low-fit participants need more neural resources when conducting

exercise, and therefore have fewer resources available for cognitive performance (Etnier et al., 2006; Lambourne & Tomporowski, 2010).

We therefore suggest that the apparent discrepancy between the results in Experiments 1-2 and those reported by Huertas et al., and Sanabria et al., could be explained by the physical fitness of the participants. Huertas et al., tested experienced high-fit cyclists and in our study the participants had a moderate active life style (i.e., they exercised between 4 and 8 hours per week). One would then argue that very low-fit participants drove the results in the latter study. Unfortunately, we do not have data of the aerobic fitness level of the participants in Sanabria et al.'s study to confirm this hypothesis. In any case, it is likely that the physical fitness of participants in these studies played an important role in the effects of an acute bout of effort on exogenous spatial attention.

In our aim to further investigate the role that the participants' aerobic fitness level may have played in the outcome of Experiments 1-2 we realized that the participants in Experiment 2 had better physical fitness level than the participants in Experiment 1 in terms of relative power output at AT, and, on the other hand, the variability between our participants in terms of physical fitness level was larger in Experiment 1 ($SD = 0.49 \text{ W*Kg}$) than in Experiment 2 ($SD = 0.35 \text{ W*Kg}$). To confirm this differences in terms of physical fitness level we performed a *t*-test between the relative power output at AT in Experiment 1 (Mean = 2.65 ± 0.38) and Experiment 2 (Mean = 1.96 ± 0.49). Results showed a significant difference, $t(34) = 4.70$, $p < .001$. Therefore, we conducted simple linear correlation analyses between the orienting effects (at each SOA [RT uncued – RT cued at the 100 ms SOA; RT cued – RT uncued at the 1000 ms SOA] at each sessions as dependent variable and the individual relative

power output at AT of our participants as continuous predictor at each Experiment separately.

The analyses showed a significant positive linear relation between the facilitation effect at the 100 ms SOA in the post-effort condition and the individual relative power output, $r^2 = 0.41$, $p = .004$ (see Figure 3), but only in Experiment 1. None of the other regression analyses with data from the long SOA in the post-effort condition and from the after recovery or rest conditions was shown statistically significant (all r^2 s < 0.08 and all $ps > .24$). We hypothesized that this significant correlation points to a critical role of fitness level on the relation between intense exercise and exogenous spatial attention (see Figure 21). This correlation indicated that the magnitude of the facilitation effect increased as the index of physical fitness level increased. None of the other correlations with data from the long or short SOAs in each session and in each Experiment was shown statistically significant (all r^2 s < 0.08 and all $ps > .24$).

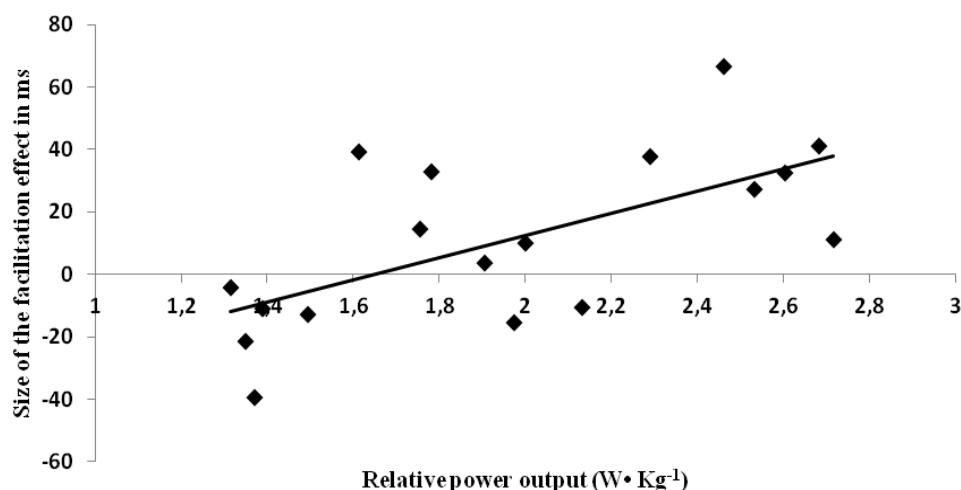


Figure 21: Correlation between the facilitation effect at the 100 ms SOA in the post-effort condition with the individual relative power output at AT in Experiment 1 ($W \cdot Kg^{-1}$).

We suggest that the lack of correlation significance in Experiment 2 was due to the participants in Experiment 2 had better physical fitness level than participants in Experiment 1.

Experiment 3 was designed to test the hypothesis of whether the relationship between acute intense exercise and the functioning of exogenous spatial attention would be moderate by the participants' aerobic fitness level.

Experiment 3

Physical fitness level mediates the relationship between exogenous spatial attention and acute intense exercise

In light of the relation between aerobic fitness level and cognitive performance during exercise (Etnier et al., 1997; Lambourne & Tomporowski, 2010; Pesce, 2009; Tomporowski, 2003) and the trend for a positive linear correlation showed when pooling the data from Experiments 1-2, we tried to clarify the potential role of fitness level over the effects of acute effort on exogenous spatial attention.

Two groups of participants with different aerobic fitness level performed the same spatial task at rest and after a bout of intense effort. In this case, and in order to increase the physiological demands of the effort session, participants performed an exercise to exhaustion. In order to measure the level of motivation, competitiveness, subjective activation and subjective affect, participants completed three brief questionnaires. We hypothesized a reduced magnitude of the attentional effects in the effort session with respect to the rest condition in the low-fit participants but not in high-fit participants. To our knowledge, Lum et al. (Lum, Enns, & Pratt, 2002) reported the only study of exogenous attention as a function of sport practice (comparing athletes with non-athletes). They did not show any differences between athletes and non-athletes in the functioning of exogenous spatial attention at rest. Therefore, we did not have a clear a priori hypothesis regarding any potential difference between groups at rest session.

Method

Participants.

Thirty males (19-28 years old; $M = 24 \pm 3$ years old), from the Faculty of Physical Education and Sport (Catholic University of Valencia, Spain) and triathlon clubs, participated in this study. Participants were divided in two groups according to their training habits (< 2 days per week for the low-fit group and between 4-7 days per week for the high-fit group) (American College of Sports Medicine, 2005) and corroborated with their maximum oxygen uptake ($\text{VO}_2 \text{ max.}$) and maximum relative power output ($\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1} \text{ max}$) (see Table 1). Three participants who reported low training habits (< 2 days per week) showed $\text{VO}_2 \text{ max.}$ values of 58.3, 60.2 and 54.2.1 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ and relative power output of 4.3, 4.0, and 4.2 $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ⁷. These values were close to the mean values of the high-fit participants 58.4 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 4.5 $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$. In order to maintain our inclusion criteria (the training habits at the period of data collection and the $\text{VO}_2 \text{ max.}$) we decided to exclude these participants from the analyses. All participants provided written informed consent prior to their inclusion (see Annex 4), and were fully aware of the protocol. All had normal or normal-to-corrected vision, and no known neuropsychological impairment. This experiment was performed under the ethical approval of the local ethics committee.

Apparatus, materials, procedure and design.

The Methods of Experiments 1-2 were replicated except for the following (see Figure 22). Participants completed two sessions across two separate days (minimum of 2 days between sessions). The spatial attentional task was completed both at rest (rest)

⁷This phenomenon could be attribute to the genetic factor at the time to determine the $\text{VO}_2 \text{ max}$ (Wilmore & Costill, 1994).

and immediately after an acute bout of intense exercise to exhaustion on a cycle ergometer (post-effort). The sessions were administered in a counterbalanced order across participants. Prior to the start of each session, participants completed the Monk scale (Monk, 1989) to assess the affective state (feelings, mood) and level of vigor (alertness, vigilance) (see Annex 5). In addition, a rating of 0 to 100 was taken to measure their motivation before and after the spatial attentional task, and their level of competitiveness before the task (see Annex 6). Finally, a reduced version of the same attentional task than in Experiments 1-2 was administered (1 block of 24 trials with feedback and 1 block of 36 trials without feedback).



Figure 22: Set up used in the Experiment 3. 1) Cycle ergometer PC. 2) Weather Station. 3) JAEGER Master Screen gas analyser. 4) Cycle ergometer Cardgirus Medical. 5) Ventilation system.

For the exercise to exhaustion condition, participants were instructed to maintain a constant cadence between 60 - 90 rev · min⁻¹. The warm-up started at 25 W and the power output was increased 25 W every 2' and 30''. The test began at 100 W, and power output was increased 15 W every minute. The test ended when participant could

not maintain the minimum cadence of $60 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1}$ and after an average duration of 24' and 39'' ($\pm 60''$) for the high-fit group and 19' and 51'' ($\pm 180''$) for the low-fit group. Immediately after participants completed 8 experimental blocks of the spatial attentional task of 36 trials, including 4 catch trials, in which the target was not presented to prevent response anticipations.

Results

Physiological data analysis.

T-tests showed significant differences between the high-fit and low-fit groups for $\text{VO}_2 \text{ max.}$, $t(25) = 9.13$, $p < .001$, and the maximum relative power output, $t(25) = 9.63$, $p < .001$ (see Table 5).

Table 5: Physiological characteristics of the sample.

Variables	$M \pm SD$	
	High-fit group	Low-fit group
Sample size	14	13
$\text{VO}_2 \text{ max. (ml.min-1.kg}^{-1}\text{)}$	58.38 ± 2.96	41.28 ± 6.32
Normative values for $\text{VO}_2 \text{ max.}^a$	Percentile 90	Percentile 70
$\text{VO}_2 \text{ at VT (ml.min-1.kg}^{-1}\text{)}$	44.80 ± 5.44	27.26 ± 6.20
Relative Power max ($\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$)	4.55 ± 0.42	3.03 ± 0.40
Relative Power at VT ($\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$)	3.53 ± 0.48	2.20 ± 0.42

^aPercentile values for maximal oxygen uptake ($\text{ml} \cdot \text{kg} \cdot \text{min}$) in men. Percentile rankings: well above average (90), above average (70), average (50), below average (30) and well below average (10). $\text{VO}_2 \text{ max}$ below 20th percentile for age and sex is indicative of a sedentary lifestyle (American College of Sport Medicine, 2005).

Behavioural analyses.

Incorrect responses (9.35 %) were eliminated from the RT analyses. Trials with RTs below 200 ms were considered anticipatory, and above 1000 ms were regarded as misses (1.48 %) and thus were removed from the analyses (see Table 6).

Table 6: Mean RT and standard error (ms) and percentage of errors (between parentheses) as a function of Group (high-fit, low-fit), Session (post-effort, rest), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued).

		High-fit group				Low-fit group			
		Post-effort		Rest		Post-effort		Rest	
SOA (ms)		100	1000	100	1000	100	1000	100	1000
Cued		521 ± 14	534 ± 15	530 ± 11	540 ± 13	514 ± 15	513 ± 16	511 ± 12	517 ± 14
		(9)	(8.8)	(9)	(9.1)	(9.2)	(9)	(9.2)	(9)
Uncued		543 ± 14	522 ± 15	540 ± 12	532 ± 12	519 ± 15	504 ± 15	525 ± 12	504 ± 13
		(8.8)	(9)	(8.9)	(9.5)	(9.1)	(9.2)	(9.2)	(9.2)

A repeated measures ANOVA with participants mean RTs (i.e., mean RT for each condition and participant divided by the mean overall RT for that participant) was performed with the between-participant factor Group (high-fit, low-fit), and the within-participant factors of Time-on-task (blocks 1-2; blocks 3-4; blocks 5-6; blocks 7-8), Session (rest, post-effort), SOA (100, 1000) and Cueing (cued, uncued).

Results showed a main effect of Time-on-task, $F(3, 75) = 3.75$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.13$. Participants were faster in the final blocks (blocks 7-8; $M = 514$ ms, $SD = 54$ ms) compared to the initial blocks than in the other three parts (blocks 1-2, $M = 528$ ms, $SD = 62$ ms, $p = .03$; blocks 3-4; $M = 527$ ms, $SD = 58$ ms, $p = .008$; blocks 5-6; $M = 524$ ms, $SD = 57$ ms, $p = .002$) (see Figure 23). None of the interactions involving the factor Time-on-task was significant (all $ps > .08$). Thus, we collapsed all blocks.

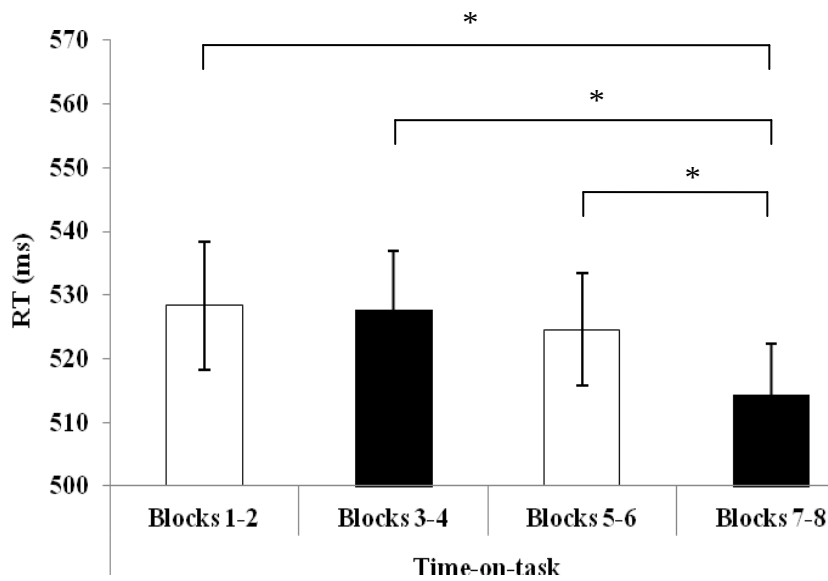


Figure 23: Mean RT and standard error (ms) at Time-on-task. * $p < .05$

The ANOVA including the factors Group, Session, SOA, and Cueing revealed a significant interaction between SOA and Cueing, $F(1, 25) = 30.37$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.55$. Faster RTs were shown at cued compared to uncued trials at the 100 ms SOA, $p < .001$, $d = 1.54$ and faster RTs at uncued compared to cued trials at the 1000 ms SOA, $p = .002$, $d = 1.13$ (see Figure 24). Crucially, there was also a significant interaction between Group, Session, SOA and Cueing, $F(1,25) = 5.96$, $p = .02$, $\eta^2 = 0.19$ ⁸.

⁸Interestingly enough, an ANOVA including the three untrained participants with high values of VO_2 at VT and relative power output in the high-fit group showed similar results to those reported in the main text. There was a significant interaction between Group, Activity, SOA, and Validity, $F(1,28) = 6.35$, $p = .02$, $\eta^2 = 0.19$. The interaction involving the factors of Group, SOA and Cueing, was marginally significant in the post-effort session ($p = .08$) and non-significant in the rest session ($p = .31$).

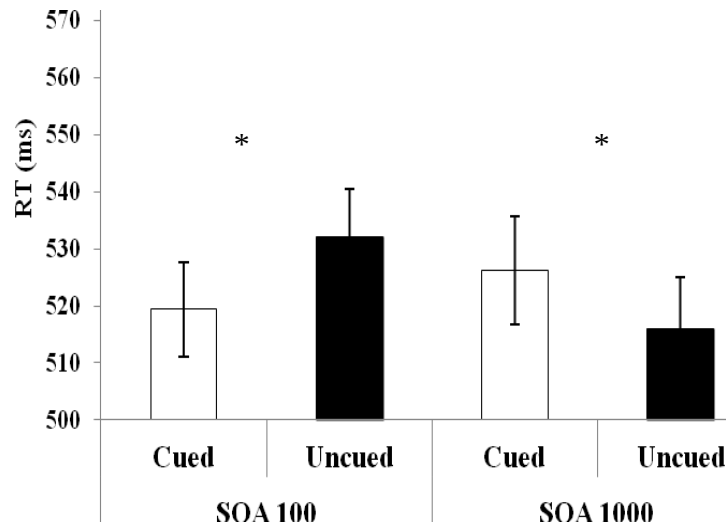


Figure 24: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000). * $p < .05$

To investigate this interaction further we broke the analysis down by Session. The ANOVA including Group, SOA and Cueing in the post-effort session showed a significant interaction involving all three factors, $F(1, 25) = 4.09$, $p = .05$, $\eta^2 = 0.14$, contrary to the rest session, $F < 1$.

Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.012$) were performed to explain the significant interaction in the post-effort session. These analyses showed that in the high-fit group the facilitation and IOR effects were significant ($F(1, 25) = 27.54$, $p < .001$, $d = 1.56$ and, $F(1, 25) = 8.20$, $p = .008$, $d = 0.76$, respectively). On the other hand, neither the facilitation nor the IOR effects reached statistical significance in the low-fit group ($F(1, 25) = 1.65$, $p = .21$, and $F(1, 25) = 4.90$, $p = .04$, for the facilitation and IOR effects, respectively) (see Figure 25). The ANOVA with data from the rest

session only showed the typical interaction between SOA and Cueing $F(1, 25) = 17.04$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.29^9$.

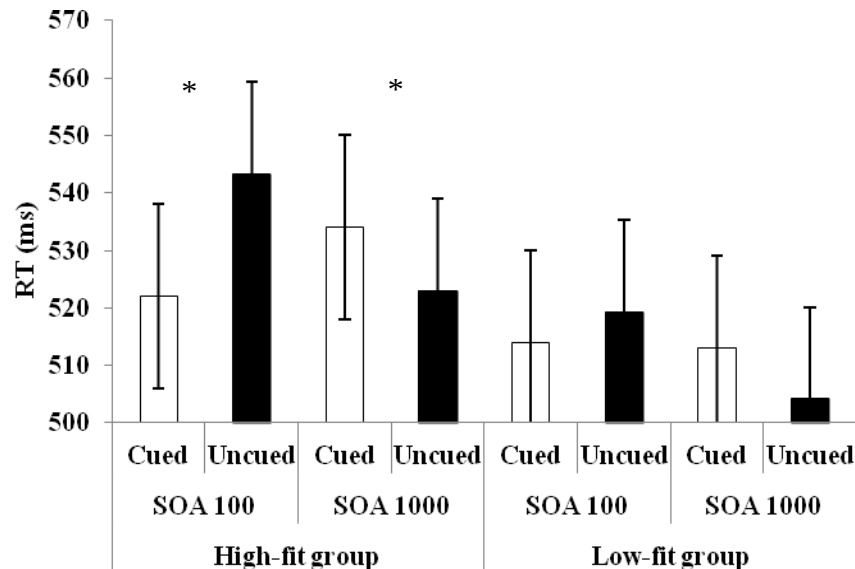


Figure 25: Mean RT and standard error (ms) for cued and uncued trials at each SOA (100, 1000) in post-effort session between groups (high-fit, low-fit). * $p < .05$

To further test our hypothesis regarding aerobic fitness level as a moderator between intense acute effort and exogenous spatial attention performance, we conducted a simple linear regression between the magnitude of the facilitation effect (i.e., RT uncued – RT cued at the 100 ms SOA) and IOR (i.e., RT cued – RT uncued at the 1000 ms SOA) pooling the data from the post-effort session in Experiment 1, the intense aerobic session in Experiment 2 and the post-effort session in Experiment 3, and rest session from the three experiments as a dependent variable and the relative power output at AT in the three experiments as a continuous predictor. Results showed a

⁹The analysis was repeated considering the proportional RT as dependent variable. This was done to ensure that the null facilitation effect in the post-effort condition in the low-fit group was not caused by an overall slower RT pattern that would have reduced the likelihood of finding a reliable effect. The results mimicked those reported in the main text, with a significant interaction between Group, Session, SOA, and Cueing, $F(1,25) = 5.56$, $p = .03$, $\eta^2 = 0.18$.

positive linear regression between relative power output at AT and the facilitation effect, $r^2 = 0.29$, $p = .02$ (see Figure 26). This correlation indicated that the magnitude of the facilitation effect increased as the index of physical fitness level increased. None of the other regression analyses with data from the long SOA in the intense aerobic exercise session and from the rest session in the three experiments were shown statistically significant (all r^2 s < 0.18 and all $ps > .16$)

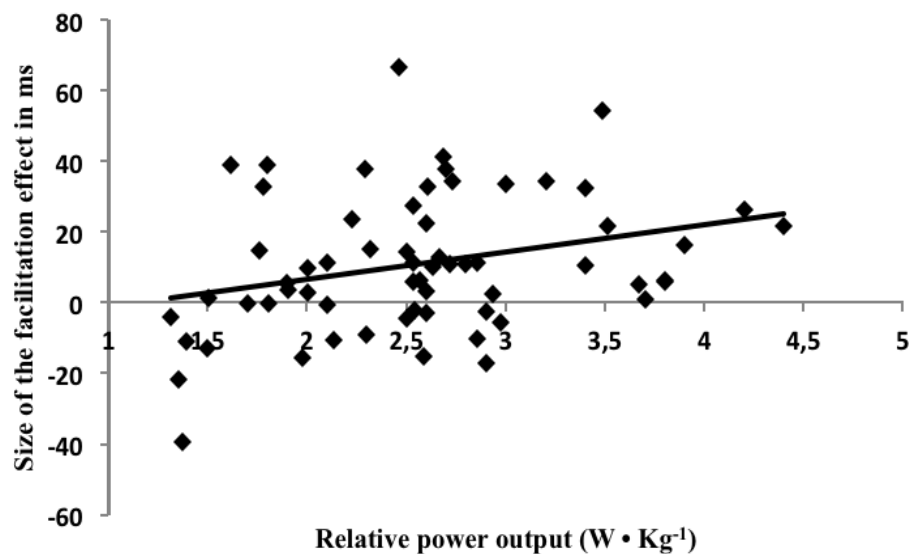


Figure 26: Correlation between the facilitation effect at the 100 ms SOA (in post-effort session in Experiment 1, intense aerobic session in Experiment 2 and in post-effort session in Experiment 3) and the individual relative power output at AT in Experiments 1, 2 and 3 ($W \cdot Kg^{-1}$).

ANOVA with the factors of Group, Activity, SOA and Cueing on participants' response accuracy did not show any significant effects.

Subjective scales.

Between-group t -tests (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.005$) in the post-effort condition on motivation revealed no significant difference between the high and low-fit

groups prior to the spatial attentional task, $t(25) = 0.86$, $p = .39$, and after, $t(25) = 0.02$, $p = .98$. Meanwhile, there was no significant difference between the high and low-fit groups for competitiveness, $t(25) = 2.04$, $p = .05$. For the Monk scale, there was no significant difference between high and low-fit groups either on subjective activation, $t(25) = 0.43$, $p = .66$, or on subjective affect, $t(25) = 0.54$, $p = .59$. A similar pattern of results were obtained in the rest condition for motivation prior to, $t(25) = -0.04$, $p = .97$, and after the spatial attentional task, $t(25) = 0.50$, $p = .61$, competitiveness prior to the task, $t(25) = 2.13$, $p = .04$, and subjective activation, $t(25) = -0.23$, $p = .81$, and affect, $t(25) = -0.01$, $p = .98$, on the Monk scale (see Table 7).

Table 7: Means and Standard Deviations (SD) for the Motivation, Competitiveness and Monk Scales Data (1-100) in High and Low-fit Groups.

	High-fit group				Low-fit group			
	Post-effort		Rest		Post-effort		Rest	
Questionnaires	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>	<i>Mean</i>	<i>SD</i>
Are you motivated to perform the attentional task?	90	18	91	18	85	13	91	9
How motivated had you felt performing the attentional task?	80	26	83	20	80	20	79	20
Do you like to always win in competitions?	92	10	93	10	83	14	83	15
Monk (Subjective Activation)	46	13	41	12	44	7	42	9
Monk (Subjective Affect)	47	13	49	8	43	13	50	13

Discussion

The main aim of Experiment 3 was to examine the role of the aerobic fitness level as a moderator between acute exercise and exogenous spatial attention performance. Participants completed the same exogenous spatial task used in Experiments 1-2 at rest (without a previous effort) and immediately after an acute bout of exercise to exhaustion.

The results showed that the typical facilitation and IOR effects disappeared in the post-effort session but only in participants with low aerobic fitness level. The lack of significant differences between groups in the subjective scales seems to confirm that the effects on exogenous spatial attention could not be attributed to mere differences in motivation, competitiveness, subjective activation or subjective affect of the participants.

Given the limited and constant metabolic capacity of the brain, neural resources used for exercising compete with the same resources necessary to perform cognitive processing during exercise (Chang et al., 2012; Dietrich, 2003, 2006). Several studies demonstrated that during exercise, participants with low aerobic fitness level use more metabolic resources to maintain intense exercise activity than participants with higher aerobic fitness level (e.g., Brisswalter et al., 1997; Chang et al., 2012). Presumably, this difference in terms of metabolic and brain resources may be due to high-fit participants having higher motor skills thanks to their expertise to perform this type of efforts than low-fit participants (Brisswalter, et al., 1997). Although we did not measure cognitive performance while exercising, it would appear that an acute bout of exercise to exhaustion decreased the metabolic and brain resources available for cognitive processing in low-fit participants compared to high-fit participants, and subsequently led to a decline in exogenous spatial attention effects. In other words, intense exercise reduced the overall capacity to orient exogenous attention in space.

It is important to know that physical exercise requires the activation of some motor regions in the brain (Dietrich, 2006) and modulate the brain metabolic resources (O_2 , glucose,...) (Secher et al., 2008). When the exercise stopped, these changes return to baseline activity gradually but rapidly. What is far from clear, however, is how long

it takes for this change to affect the brain globally (see Dietrich & Audiffren, 2011 for a review).

Notably, however, the acute bout of exercise did not result in an overall increase in RT in the low-fit participants with respect to the rest session. Therefore, the variation in the magnitude of the attentional effects could not be attributed to a mere RT floor effect. Moreover, we did not show significant differences in overall RT and accuracy performance between groups of participants in any of the experimental conditions. Thus, it would appear that low-fit participants did not have a reduced capacity to orient their attention in space after intense exercise, but that they tend to focus on the target over the irrelevant cue stimulus.

Experiment 4 was designed to test further these two opposed hypotheses: 1) although our data did not support, it is plausible that acute intense exercise results in a decreased overall capacity to orient exogenous attention in space or, on the other hand 2) acute intense exercise results in an increased focus in the relevant target stimulus over any other irrelevant stimulus presented in the visual display.

Experiment 4

Visual search, intense exercise and physical fitness level

In Experiment 4, we used the simple discrimination task developed by Theeuwes, Kramer, Hahn, & Irwin (1998) to investigate overt spatial attentional capture (involving eye movements), as opposed to covert spatial attention. In this task, participants are presented with a visual display containing six grey circumferences with a letter in them. After 1000 ms, the colour of all circumferences but one (target) changes to red. In half of the trials, an extra (new object) circumference is added to the second display. Participants are instructed to make a fast saccade towards the circumference target and to discriminate the letter inside it (see Methods for more details). Theeuwes et al., showed an increased reaction time when the extra circumference was added to the display. Crucially, they showed that participants tended to move their eyes first to the new object before making a saccade to the target. As a consequence, the time from the appearance of the target until the first saccade towards the target was larger when the new distractor was added to the display. This supported the existence of exogenous spatial capture also in overt attention (Theeuwes et al., 1998).

Here, we investigated overt exogenous spatial orienting in a group of participants with low aerobic fitness level in two conditions: 1) immediately after 15 min of intense aerobic exercise corresponding at 100% of the participants VT, 2) at rest without any prior bout of exercise. Two dependent variables were measured: mean RT to discriminate the target (manual) and mean RT from the appearance of the target to the first saccade that went directly to the target (i.e., goal-directed saccade toward the target).

The two hypotheses outlined above predict two different patterns of results. On one hand, if intense exercise results in an overall impairment in the capacity to orient attention to any stimulus (relevant or irrelevant) appearing at unpredictable locations, we would expect an overall RT increment in mean discrimination's RT. Moreover, the speed in making the first eye movement towards the target would be also reduced both in the distractor and no distractor conditions. There is no reason to expect a decreased distracting effect by the new object in the post-effort condition with respect to the rest condition, i.e., participants may still make a saccade towards the distractor before looking at the target, although slower. On the other hand, if the reduced availability of metabolic resources results in an increased attentional focus toward the relevant target, we would expect a reduced distracting effect by the new object, both in terms of mean RT in discriminating the letter inside the circle and in terms of the first saccade towards the target.

Method

Participants.

Fourteen undergraduate students (7 males and 7 females)¹⁰ (23-31 years old; $M = 26 \pm 3$ years old), from the Faculty of Physical Education and Sport (John Moore University, Liverpool, Great Britain) participated in this study. All participants gave informed consent prior to their inclusion in the experiment (see Annex 7), were fully aware of the protocol, reported practicing physical activity between 0 and 2 hours per week. They had normal or normal to corrected vision, and no known

¹⁰We had to test males and females because we could not find enough participants from a single sex group. However, at present and due to the small sample size, we could not make any argument related to sex differences in the reported effects.

neuropsychological impairment. Seven participants were discarded from the analyses due to problems with their data collection. The results of the submaximal exercise test confirmed that participants had a low level of physical fitness (see Table 8). This experiment was performed under the ethical approval of the local committee.

Apparatus, materials, procedure and design.

An electrically braked cycle ergometer (Monark 817E, Stockholm, Sweden), FT1 Polar monitor to record the HR (Polar Electro Oy, Kemple, Finland) and an online gas analysis system (MetaMax 3B gas analysis system, Cortex, Biophysik, Leipzig, Germany) to provide a measure of gas exchange during the sessions were used to determine the VT. A host PC was used to present the stimuli in the visual search task. Visual stimuli were generated using the COGENT toolbox implemented through MATLAB (Mathworks Inc.). Response collection was controlled via MATLAB (Mathworks Inc.).

Movement of the left eye was recorded using Eye Link tracker 1000 (250-Hz temporal resolution and 0.2° spatial resolution) (SR Research, Ottawa, Ontario, Canada). An output signal from parallel port of the host PC was used to synchronize stimulus generation with eye movement recording.

Participants completed three sessions in three separate days (with 1 to 5 days between sessions; $M = 3 \pm 1$ day). In the first session, participants performed a submaximal exercise test to obtain their VT by analyzing the gas exchange (following Yeh et al., 1983; Myers & Ashley, 1997, see Procedure and design, Experiment 2) and they completed one block of the attention task to familiarize with it. In the other two sessions, participants performed the visual search task either at rest without any prior

effort (rest) or after intense aerobic exercise (post-effort). The order in which these two sessions were performed was counterbalanced across participants.

At the rest condition, participants were not subject to any effort prior to the visual search task. In the post-effort condition, participants completed the visual search task immediately after cycling 15 min at the 100% of their VT.

The task was divided in 4 blocks of 40 trials. During the two sessions, participants were seated in front of the laptop at 60 cm. The head was supported by a height-adjustable chin rest. They completed the task in a silent and dimly illuminated room.

The visual search task consisted of the presentation of six gray circles, each circle containing a small gray figure-eight pre-mask. After 1000 ms, all circles but one change to red, and at the same time, the small pre-masks inside the circles change to letters. Participants were instructed to quickly make a saccade, as soon as the colours of the circles changed, directly to the only gray circle left and to determine whether the letter inside the gray circle was a “C” or a reverse “C”. They were required to press the right arrow for “C” and the left arrow for reverse “C”. The letters inside the red circles were distractors letters. Crucially, on half of the trials, an additional red circle (new object) was added to the display at the same time that the colour singleton was revealed (see Figure 27). This additional new object was presented with the intention to capture exogenous spatial attention.

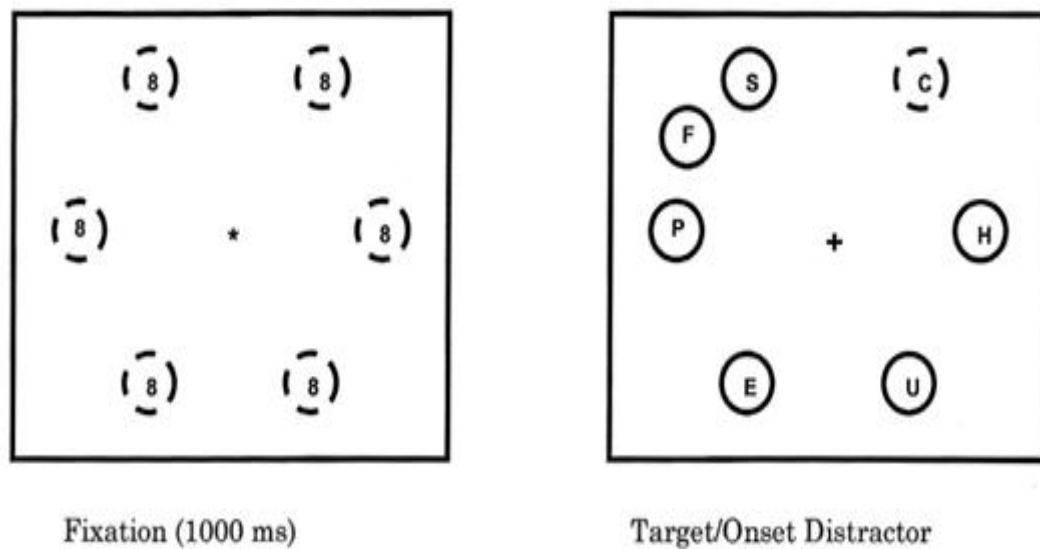


Figure 27: Schematic view of the visual search task used in Experiment 4 (extracted to Theeuwes et al.'s, 1998). Note that the target was presented simultaneously with the appearance of the distracting new object. The gray circles are indicated by the dashed lines and the red circles indicated by the solid lines.

Submaximal exercise test.

Prior to start of the test, the HR monitor was adjusted to the participant's chest and the cycle ergometer was set to the individual anthropometric characteristics. Participants were instructed to maintain a constant cadence between 60-80 rev • min⁻¹. The warm-up started at 25 W and the power was increased 25 W every 2'. The test began at 100 W, and power was increased 25 W every 2'. VO₂, carbon dioxide production, expiratory flow, and other respiratory parameters were monitored continuously and averaged between 3'' and 5''. The test ended when participants reached their VT.

Submaximal exercise at constant intensity in the experimental conditions.

At the post-effort condition, we used the same protocol that in the submaximal exercise test until the participant reached 100% of his/her HR and power output of VT.

Once the participants had reached the HR and power output corresponding to their VT, they were instructed to continue pedalling at constant cadence $60\text{-}80 \text{ rev} \cdot \text{min}^{-1}$ for 15' (mean duration of the total effort session = $24' \pm 3'$).

Results

Physiological data analysis.

To confirm that the participants completed the attentional task in two different physical states as a function of the preceding session (post-effort and rest), various planned pair-wise comparisons were performed. *T*-tests with the mean of participants' HR at the start of the attentional task between post-effort and rest session showed significant differences, $t(6) = 29.08$, $p < .001$ (see table 8).

Table 8: Mean and standard deviation of the physiological characteristics of participants obtained in the submaximal exercise test and in the two Sessions. Note: Mean HR (bpm), Mean HR when participants' started the attentional task.

		<i>M</i> ± <i>SD</i>	% AT
Physiological Parameters from the submaximal exercise test	VO ₂ at VT (ml.min ⁻¹ .kg ⁻¹)	20.08 ± 5.78	--
	Power output at VT (W)	128 ± 22	--
	Relative Power output at VT (W.Kg ⁻¹)	1.83 ± 0.19	--
	Mean HR (bpm)	154 ± 4	--
Rest	Mean HR (bpm)	76 ± 9	48
Post-effort	Power output (W)	130 ± 28	102
	Relative power output (W.Kg ⁻¹)	1.86 ± 0.21	101
	Mean HR (bpm)	148 ± 5	97

Eye movement data.

We performed an analysis using the RT of the first saccade that went directly to the target (i.e., goal-directed saccade toward the target). We introduced participants' mean RT of these saccades into an ANOVA with the factors of Session (rest, post effort) and New object (present, absent) (see Table 9).

Table 9: Mean saccades' RT and standard error (ms) as a function of Session (post-effort, rest), and New object (present, absent).

	Post-effort	Rest
Present	645 ± 18	690 ± 16
Absent	640 ± 15	634 ± 25

Results showed a significant main effect of Session, $F(1, 6) = 23.15$, $p = .003$, $\eta^2 = 0.79$, with participants moving their eyes to the target more rapidly in the post-effort condition (642 ms) than in the rest condition (662 ms).

The main effect of New object also reached significance, $F(1,6) = 13.51$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.69$. Participants made the goal-directed saccade toward the target more rapidly in absent trials (637 ms) than in present trials (667 ms). Crucially, we obtained a significant interaction between Session and New object, $F(1, 6) = 6.50$, $p = .04$, $\eta^2 = 0.52$. Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.025$) showed that the difference in RT between present and absent trials was significant in the rest condition, $F(1, 6) =$

6.50, $p = .02$, $d = 2.85$, but not in the post-effort condition, $F(1, 6) = 1.59$, $p = .25$ (see Figure 28)¹¹.

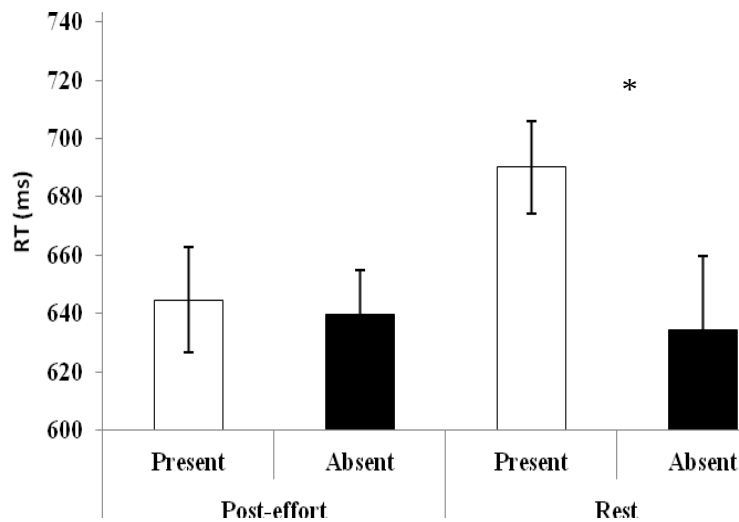


Figure 28: Goal-directed saccade toward the target means RT and standard error (ms) between New Object Present and New Object Absent trials at each Session (post-effort, rest). * $p < .05$

Behavioural analyses.

Incorrect responses (0.48%) were eliminated from the analyses. A repeated measures ANOVA was performed with participants' mean RTs to identify the target letter with the within-participant factors of Time-on-task (blocks 1, 2, 3, 4), Session (rest, post-effort), and New object (present, absent). The ANOVA did not reveal any significant interaction involving Time-on-task factor (all $ps > .13$). Thus, we collapsed all blocks.

¹¹The analysis was repeated considering the proportional RT as dependent variable. The results mimicked those reported in the main text, with a significant main effect of Session, $F(1, 6) = 23.68$, $p = .003$, $\eta^2 = 0.80$, with significant main effect of New object, $F(1, 6) = 11.65$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.66$ and with significant interaction between Session and New object, $F(1, 6) = 5.46$, $p = .05$, $\eta^2 = 0.48$. Therefore, for the sake of simplicity, we decided to report uncorrected mean reaction time.

Mean responses RTs were then submitted to a 2 x 2 repeated measures ANOVA with the within-participants factors of Session (post-effort, rest) and New object (present, absent) (see Table 10).

Table 10: Mean response RT and standard error (ms) as a function of Session (post-effort, rest), and New object (present, absent).

	Post-effort	Rest
Present	813 ± 33	871 ± 51
Absent	795 ± 25	825 ± 50

The ANOVA revealed a significant main effect of New object, $F(1,6) = 11.70$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.66$. Participants were faster to respond in absent trials than in present trials (see Figure 10). On the other hand, the main effect of Session did not reach statistical significance, $F(1, 6) = 3.18$, $p = .13$, $\eta^2 = 0.35$.

We did not obtain a significant interaction between Session and New object, $F(1, 6) = 3.53$, $p = .11$, $\eta^2 = 0.37$, but to verify if the significant effect in the eye movement was paralleled by a similar pattern of results in the manual RTs we performed further analyses. Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.025$) were performed to investigate the interaction. These analyses showed that the main effect of New object was significant in the rest condition, $F(1, 6) = 11.46$, $p = .01$, $d = 0.97$, but not in the post-effort Session, $F(1, 6) = 3.42$, $p = .11$ (see Figure 29)¹².

¹² The analysis was repeated considering the proportional RT as dependent variable, The results mimicked those reported in the main text, with a significant main effect of New object, $F(1,6) = 13.48$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.69$ and with a marginally significant interaction between Session and New object, $F(1, 6) = 4.01$, $p = .09$, $\eta^2 = 0.40$. Therefore, for the sake of simplicity, we decided to report uncorrected mean reaction time.

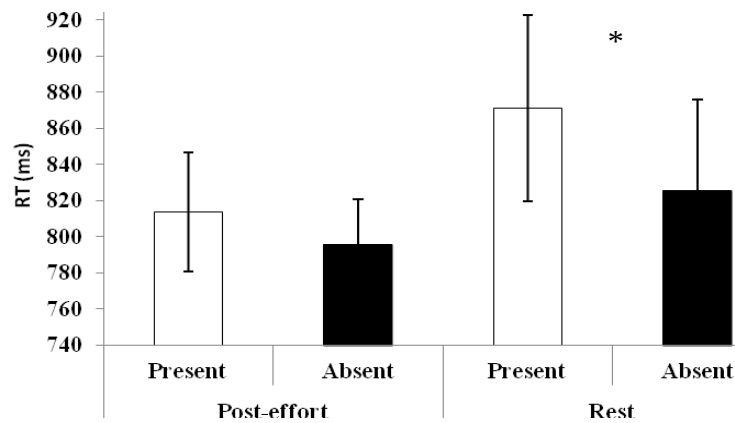


Figure 29: Mean RT and standard error (ms) between New Object Present and New Object Absent trials at each Session (post-effort, rest). * $p < .05$

Discussion

Experiment 4 examined the role of an intense bout of exercise on overt exogenous spatial attention in a group of low-fit participants. Importantly, we aim at testing whether acute intense exercise results in an overall reduced capacity to orient exogenous attention in space, or in an increased focused spatial attention to relevant target stimuli over irrelevant distracting stimuli.

Participants completed a visual search task at rest (without a previous effort) and immediately after an acute bout of intense aerobic exercise. The results showed that slower RTs were found in the present object than in the absent object condition. Crucially, the difference in RT of the first goal-directed saccade toward the target between new object present and new object absent trials was also statistically significant. Taken together, these results replicate Theeuwes et al.'s (1998) findings demonstrating that the appearance of a new object interferes with the planning and execution of a goal-directed eye movement to the target and in the RTs to identify the

target, presumably by capturing overt spatial attention to this novel and potentially relevant location. However, the presence of a novel object in the visual field seemed to affect eye movements toward the target only in the rest condition since no significant difference in the RTs of the first goal-directed saccade toward the target between these trials (i.e., present, absent) was shown in the post-effort session.

We suggest that the results of the post-effort session in Experiment 4 were the consequence of the reduced metabolic resources after the intense effort (cf. Chang et al., 2012). This would have made the brain less prone to respond to irrelevant stimuli, in order to focus on the target. Thus, the results of Experiment 4 appear to support the hypothesis stating that the reduction in the magnitude of the attentional effects shown in Experiment 3 was mainly due to low-fit participants focusing their spatial attention in the target over other irrelevant stimuli and not to an overall reduced capacity to orient exogenous attention in space.

There is still an alternative explanation that could account for the results reported in Experiment 4. The significant interaction shown in the eye-movement data was mainly driven by the difference in RT between the activity sessions in the object present condition (see Figure 29). Faster eye movement latencies were shown in the post-effort condition than in the rest condition. This improved RT might be the consequence of enhanced inhibitory processing after aerobic exercise. This hypothesis is in line with Tomporowski et al.'s (2005) study that showed improved performance in a task that required focused attention to the target and inhibition of distractors after an acute bout of exercise. We further discuss the alternative explanations for the present data in the General Discussion of this Thesis.

V. DISCUSIÓN GENERAL

5.1. Discusión general

El objetivo principal de esta tesis doctoral era aumentar el conocimiento sobre la relación existente entre la realización de un esfuerzo físico puntual y el funcionamiento de la orientación espacial exógena. De forma más específica pretendíamos conocer cómo diferentes variables relacionadas con el esfuerzo físico (i.e., intensidad y duración) podrían modular dicha relación.

Como se mencionó en el marco teórico, en distintas situaciones deportivas los atletas ejecutan sus acciones bajo distintas condiciones de carga física (duración e intensidad) en unos contextos caracterizados por la existencia de multitud de estímulos, unos relevantes y otros irrelevantes para llevar a cabo la acción motriz propuesta (Weinberg y Gould, 1995). En el contexto deportivo, las variables sensoriales, perceptivas y cognitivas juegan un papel importante en el futuro rendimiento del deportista (Hohmann et al., 2005), lo que justifica la importancia del estudio de las fases previas a la acción motriz y con ello de la orientación espacial exógena, que determinarán la realización de una u otra acción y que a su vez determinará el rendimiento de la misma. En un futuro, conforme vaya avanzando el conocimiento sobre este tema, pensamos que se podrían crear programas de entrenamiento específico con el propósito de mejorar los déficits atencionales encontrados.

Multitud de estudios han informado acerca de cómo el esfuerzo físico puntual modula el funcionamiento del sistema cognitivo en general, y del atencional en particular (ver revisiones de Hillman et al., 2008; McMorris et al., 2009). Sin embargo, apenas existen referencias relativas al estudio de la relación entre la orientación espacial exógena y el esfuerzo físico puntual.

Con el propósito de aumentar el conocimiento en este ámbito de estudio, la presente tesis doctoral se ha basado en el planteamiento de una serie experimental conformada por 4 experimentos de tipo comportamental, el último de los cuales además incluye el registro de movimientos oculares mediante un sistema de “*eye tracking*”.

El primer experimento investigó el efecto que ejerce la realización de un esfuerzo aeróbico intenso de 5’ de duración sobre el funcionamiento de la orientación espacial exógena. El objetivo de este trabajo era intentar replicar los hallazgos obtenidos por uno de los escasos trabajos realizados en esta línea de investigación, Sanabria et al. (2011): la modulación de los efectos atencionales de facilitación e IR durante y después de la realización de un esfuerzo aeróbico moderado. Para ello se utilizó una tarea de discriminación espacial exógena, modificada del Paradigma de “*cueing*” espacial de Posner (Posner, 1980). Además, y en la línea de lo sugerido por Kamiyo et al. (2004), con el propósito de ver aumentados los efectos del esfuerzo físico sobre diferentes procesos atencionales, y concretamente sobre la orientación espacial exógena, se incrementó notablemente la intensidad del esfuerzo con respecto al estudio citado anteriormente. Nuestros resultados no indicaron que existiese ningún tipo de modulación de la orientación espacial exógena tras la realización de un esfuerzo aeróbico intenso de 5’ de duración. En base a la literatura previa descrita en el marco teórico, pensamos que la duración del esfuerzo (5’) no fue suficiente para observar efectos del esfuerzo físico sobre la orientación espacial exógena (Brisswalter et al., 2002).

El segundo experimento que se realizó, analizó los efectos de la realización de sendos esfuerzos físicos puntuales de diferente intensidad (i.e., aeróbico moderado vs. aeróbico intenso) sobre la orientación espacial exógena, y más concretamente sobre los efectos de facilitación e IR. Además en este estudio se aumentó la duración del esfuerzo

en comparación con la utilizada en el primer experimento, empleándose en este segundo estudio un esfuerzo de 15'. Nuestros resultados, al igual que en el primer experimento, tampoco mostraron una modulación de la orientación espacial exógena tras la realización de ambos esfuerzos aeróbicos de distinta intensidad.

Tras comprobar que ni el aumento de la intensidad en el Experimento 1 con respecto al utilizado en Sanabria et al. (2011), ni el aumento de la duración del esfuerzo físico aeróbico realizado en el Experimento 2, respecto al Experimento 1, moduló el normal funcionamiento de la atención espacial exógena, decidimos realizar un tercer experimento. A partir de la correlación descrita anteriormente en el Experimento 1, la cual mostró que los participantes con mayor condición física tenían mayores efectos atencionales de facilitación e IR, y la controversia entre los resultados de Sanabria et al. (2011) donde observaron efectos del esfuerzo físico sobre la orientación exógena en estudiantes universitarios y Huertas et al. (2011) que no observaron ningún efecto en ciclistas expertos, en nuestro tercer experimento se investigó si dicha ausencia de efectos moduladores del esfuerzo físico y orientación espacial exógena que observamos en los Experimentos 1 y 2, podría relacionarse con el nivel de condición física de los participantes. Los resultados de este estudio apoyaron esta hipótesis, observándose que la condición física de los participantes moduló el efecto del esfuerzo físico sobre la orientación espacial exógena, comprobándose que los efectos de facilitación e IR se veían reducidos o incluso desaparecían tras la realización de un esfuerzo físico hasta la extenuación en aquellos participantes con menor condición física, mientras que en los participantes con mejor condición física no se observó dicha interacción. Pero, ¿a qué se debió dicha disminución de los efectos atencionales? ¿Pudo ser por una disminución general en la magnitud de la captura atencional producida por la aparición de estímulos de carácter exógeno, ya fuesen relevantes o irrelevantes?, es decir, una disminución en

el funcionamiento de la orientación exógena en general, o por el contrario, ¿se debería únicamente a la disminución de la captura producida por el estímulo irrelevante (i.e., “cue”)? En este sentido, y en base a los resultados obtenidos por Sanabria et al. (2011), otra hipótesis plausible para explicar dicha disminución de los efectos atencionales podría ser el aumento en la reactividad del sistema cognitivo a los estímulos periféricos que se podría dar durante o incluso después de la realización de un esfuerzo físico.

Finalmente, nuestro cuarto experimento se planteó con el propósito de dar respuesta a las cuestiones anteriormente planteadas, y para ello se investigó, mediante el análisis de movimientos oculares, si la realización de un esfuerzo aeróbico intenso de 15’ de duración, podía afectar a la magnitud de la captura atencional en participantes con baja condición física. Para llevar a cabo este último estudio se empleó una tarea de búsqueda visual, donde la magnitud del efecto del distractor (i.e., TR de ensayos con distractor – TR de ensayos sin distractor) era bastante superior a la obtenida con la tarea atencional utilizada en los tres primeros experimentos. Para cuantificar la magnitud de la captura atencional, se compararon los TR en responder al estímulo objetivo y el TR de la primera sacada dirigida hacia el estímulo objetivo (i.e., tiempo que transcurre desde la aparición del estímulo objetivo y el inicio del desplazamiento ocular hacia el mismo), entre ensayos con y sin distractor. Los resultados mostraron que la captura atencional producida por los estímulos distractores (i.e., irrelevantes) fue mayor en la condición de reposo que en la condición de esfuerzo, es decir, la diferencia en el TR de las respuestas y el TR de las sacadas dirigidas hacia el estímulo objetivo entre los ensayos con y sin distractor fue mayor en la condición de reposo respecto a la de esfuerzo. Así pues, nuestros hallazgos nos permiten sugerir que la realización de un esfuerzo aeróbico intenso en participantes con baja condición física reduce la captura atencional que

provoca la aparición de un estímulo irrelevante en nuestro campo visual, sin afectar a la capacidad de orientar la atención al estímulo objetivo.

Por lo que se refiere a la utilidad de los resultados obtenidos, ¿podemos afirmar que el esfuerzo físico puntual mejora o perjudica el funcionamiento de la orientación espacial exógena? Al menos en condiciones de laboratorio, todo parece apuntar que los esfuerzos puntuales provocan un beneficio, ya que se reduce la captura atencional y el procesamiento de los estímulos irrelevantes, es decir, los participantes se distraen menos después del esfuerzo, pero, ¿qué sucedería en condiciones más ecológicas, como por ejemplo un partido de tenis? Desde nuestro punto de vista, pensamos que en este tipo de contextos, la inhibición de todos los estímulos irrelevantes/distractores puede suponer una disminución en el futuro rendimiento deportivo, ya que en multitud de situaciones, los estímulos que un principio podemos pensar que son irrelevantes, se pueden convertir en relevantes transcurridas unos segundos, incluso en décimas de segundo. Por ejemplo, en el caso del tenis, cuando el jugador se dispone a realizar el saque, en un principio el principal estímulo objetivo es la pelota (posición, velocidad), pero si un instante antes de golpear, el jugador fuera capaz de capturar y procesar el movimiento del contrario, si lo hubiera, podría realizar el saque en función del movimiento de este para dificultarle el posterior golpeo y de este modo aumentar las posibilidades de conseguir el punto.

5.2. Efectos de un esfuerzo físico puntual sobre la orientación espacial exógena.

La revisión realizada en el Marco Teórico acerca de los efectos inmediatamente posteriores a la realización de un ejercicio físico puntual sobre el sistema atencional, hemos encontrado estudios que muestran resultados dispares (efectos negativos, efectos positivos y ausencia de efectos). En relación con los resultados obtenidos en nuestra

serie experimental, como hemos comentado anteriormente, no podemos afirmar de forma categórica (y quizás algo reduccionista) que haya una mejora o un empeoramiento de la orientación espacial exógena tras la realización de un esfuerzo físico en participantes con baja condición física, ya que no se observa ningún tipo de modulación de la velocidad o precisión general de la respuesta al estímulo objetivo. Esto nos dice que los sujetos no tuvieron problemas para orientarse a la localización espacial (impredecible) donde aparecía el estímulo objetivo, i.e., no parece que tuviesen problemas para orientar su atención (exógena) al lugar de aparición del estímulo objetivo. En parte, estos resultados parecen replicar los obtenidos por Sanabria et al. (2011), aunque al considerar los datos obtenidos en el Experimento 4, proponemos una explicación alternativa a los efectos observados. Así pues, sugerimos que la desaparición de los típicos efectos de facilitación e IR se podría deber a que la captura atencional producida por la aparición en pantalla de estímulos irrelevantes se vio reducida tras la realización del esfuerzo físico, sin afectar a la captura y procesamiento del estímulo objetivo, y no a un aumento de la reactividad a los estímulos periféricos provocado por la realización del esfuerzo físico, como sugerían dichos autores.

La ausencia de efectos sobre la orientación espacial exógena después de realizar un esfuerzo físico observada en los Experimentos 1 y 2 se pudo deber a varios factores. Por un lado, en el Experimento 1, donde los participantes realizaron la tarea atencional inmediatamente después de un esfuerzo de 5' al 100% de su UA, pensamos que esta falta de modulación de la orientación espacial exógena se pudo deber a la corta duración del esfuerzo realizado, puesto que, la respuesta fisiológica a la aplicación de un esfuerzo puntual difiere según sea la duración del mismo, observándose mayores cambios a nivel fisiológico (y más estables/perdurables en el tiempo) conforme mayor es la intensidad del esfuerzo realizado (Wilmore y Costill, 2007). En base a estas evidencias, sugerimos

que la corta duración del esfuerzo planteado en el primero de nuestros experimentos no provocó los suficientes cambios a nivel fisiológico como para observar una modulación de la orientación espacial exógena. Además, a partir de la correlación positiva descrita anteriormente entre la magnitud del efecto de facilitación y la carga de trabajo relativa, y la importancia que tiene la condición física de los participantes sobre los efectos del esfuerzo sobre el diferentes procesos cognitivos (ver Etnier et al., 1997; Lambourne y Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003, para una revisión), punto que se desarrollará ampliamente en el siguiente subapartado, pensamos que es plausible hipotetizar que la ausencia de modulación atencional por parte del esfuerzo descrita en este estudio también podría estar relacionada con el elevado nivel de condición física que poseían algunos de los participantes.

En el Experimento 2, los participantes realizaron la tarea atencional inmediatamente después de realizar un esfuerzo de 15' al 85% y 100% del UA. Pensamos que, por una parte, la ausencia de interacción entre ejercicio y orientación atencional se debió a que los participantes poseían una condición física media, respecto a los seleccionados en el Experimento 1, y por otra a la intensidad del esfuerzo realizado. Como se indicó en el apartado de resultados, en el Experimento 3 observamos efectos de esfuerzo sobre la orientación espacial exógena utilizando una muestra de participantes con una condición física similar, pero que realizaban un esfuerzo bastante más intenso, hasta la extenuación. En relación a la intensidad empleada en los estudios que han analizado el efecto del esfuerzo físico sobre diferentes funciones cognitivas, se ha observado que la magnitud de los efectos del esfuerzo físico sobre el funcionamiento cognitivo es mayor conforme aumenta la intensidad del mismo (Kamijo et al., 2004; McMorris y Hale, 2012). Esta observación ha sido atribuida al mayor estrés fisiológico inducidos por el ejercicio intenso respecto a los de menor intensidad (sustratos

energéticos, cambios metabólicos, deshidratación, activación del SNC, etc.) (Kamijo et al., 2004).

En el siguiente subapartado, se discutirán los efectos observados en base a la condición física de los participantes.

5.3. Efectos de la condición física de los participantes sobre la orientación espacial exógena tras realizar un esfuerzo físico puntual.

La realización de un esfuerzo físico puntual, como hemos descrito en el Marco Teórico, produce ciertos cambios a nivel fisiológico (Wilmore y Costill, 2007). Muchos estudios han demostrado que la repetición sistemática en el tiempo de esfuerzos físicos (entrenamiento) provoca cambios o adaptaciones más perdurables en el tiempo en diferentes estructuras del organismo (a nivel cerebral, cardiovascular, muscular, etc.) (e.g., Hillman, Castelli y Buck, 2005; Hillman et al., 2008; Pesce, 2012), pudiendo ser esta la causa principal de las diferencias encontradas entre participantes entrenados y no entrenados en el estudio de determinadas funciones cognitivas en situaciones de reposo (e.g., Albinet, Boucard, Bouquet y Audiffren, 2010; Hillman et al., 2008; Luque-Casado, Zabala, Morales, Mateo y Sanabria, 2013). En este sentido, el componente P3 (también conocido como “P300 o “P3b”) ha sido extensamente empleado para caracterizar la relación entre la condición física y los cambios producido a nivel cognitivo (ver Chaddock, Pontifex, Hillman y Kramer, 2011 para una revisión). Por ejemplo, se ha demostrado que los participantes con alta condición física tienen una mayor amplitud y menor latencia del componente P3 (Kamijo et al., 2009), tanto en adolescentes, jóvenes como en adultos (Hillman, Kramer, Belopolsky y Smith, 2006),

siendo este componente generado por diferentes estructuras neuronales como el lóbulo frontal, el córtex cingulado anterior, el lóbulo inferior temporal y el córtex parietal (Hillman et al., 2008), estructuras que están directamente relacionadas con diferentes operaciones cognitivas, como el procesamiento de estímulos o la memoria (Polich, 2004). Por un lado, la amplitud se utiliza para cuantificar el procesamiento de la información (e.g., Azizian y Polich, 2007), mientras que la latencia refleja principalmente el tiempo de procesamiento del estímulo (Verleger, 1997). Por otra parte, a nivel fisiológico también se producen cambios, como por ejemplo un aumento en la absorción y transporte de O₂ a través del organismo, adaptaciones a nivel muscular, una mayor eficacia de las rutas metabólicas para la obtención de energía, es decir, una mayor capacidad para obtener energía (Wilmore y Costill, 2007). Estas variaciones no surgen de forma inmediata, sino que van surgiendo como un proceso adaptativo del organismo a las cargas de trabajo a las que se está sometiendo continuamente (Wilmore y Costill, 2007).

Así pues, la condición física de los participantes va a ser un factor clave a tener en cuenta a la hora de determinar los efectos del ejercicio físico sobre el sistema cognitivo (ver Etnier et al., 1997; Lambourne y Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003; Pesce 2012, para una revisión). Aparte de los estudios mencionados anteriormente, los cuales observaron diferencias entre participantes con alta y baja condición física en condiciones de reposo, otras investigaciones (e.g., Brisswalter et al., 1997; Labelle, Bosquet, Merkary y Bherer, 2013) encontraron diferencias en los efectos durante la realización de un esfuerzo físico puntual sobre el funcionamiento cognitivo entre participantes con alta y baja condición física.

A diferencia de los resultados obtenidos en otros estudios (e.g., Brisswalter et al., 1997; Labelle et al., 2013) los cuales observaron un deterioro en el rendimiento

cognitivo durante la realización de un esfuerzo físico en participantes con baja condición física, nuestros datos mostraron la existencia de diferencias significativas en la magnitud de los efectos de orientación espacial exógena entre participantes con alta y baja condición física, pero, como he dicho anteriormente, no se observó un deterioro general en el funcionamiento general de la orientación espacial exógena en los participantes con baja condición física. Esta diferencia respecto a los datos de los estudios mencionados anteriormente puede tener una justificación en la tarea y/o la función atencional estudiada, ya que, como se mencionó en el Marco Teórico, es una variable moduladora de los efectos del esfuerzo físico sobre el rendimiento cognitivo (ver Tomporowski, 2003 para una revisión). Por ejemplo, Labelle et al. (2013) utilizó una tarea para medir el control ejecutivo, mientras que en nuestro estudio, utilizamos una tarea de discriminación espacial exógena (Corbetta et al., 2008). Por otra parte, se puede deber también a la intensidad o duración del esfuerzo realizado, siendo este parámetro de vital importancia a la hora de describir los efectos del esfuerzo sobre el sistema cognitivo (Kamijo et al., 2004), o finalmente al nivel de condición física de los participantes considerados no entrenados.

Los seres humanos disponemos de unos recursos cognitivos relacionados con el funcionamiento cerebral y por tanto cognitivo y con el funcionamiento motor limitados (Dietrich, 2003, 2006). Por otro lado, la realización de un esfuerzo físico produce efectos sobre el metabolismo cerebral principalmente por la variación en el flujo sanguíneo. Se ha observado que el flujo sanguíneo a nivel cerebral es menor a intensidades elevadas (Jorgensen, Perko, Hanel, Schroeder y Secher, 1992; Nielsen et al., 2002; Seifert y Secher, 2011) debido al aumento de la demanda requerida por los músculos (Wilmore y Costill, 2007), provocando a su vez una disminución en la concentración de las sustancias metabólicas (e.g., glucosa, hidratos de carbono, O_2) a

nivel cerebral. Por otro lado, como se ha comentado en el punto anterior, el esfuerzo físico requiere de una activación neuronal masiva en las zonas cerebrales involucradas en el procesamiento motor provocando a su vez una disminución en la actividad neuronal de las áreas que no están directamente relacionadas con los patrones motores (Chang et al., 2012; Dietrich, 2006). Dicho de otro modo, los recursos cerebrales utilizados por las aéreas involucradas en el procesamiento motor para llevar a cabo el esfuerzo compiten con aquellos recursos necesarios para el normal funcionamiento del sistema cognitivo.

Como se ha citado anteriormente, existen diferencias en el funcionamiento cognitivo durante la realización de un esfuerzo físico entre participantes con alta y baja condición física (e.g., Brisswalter et al., 1997; Labelle et al., 2013). Estos estudios, sugirieron que estas diferencias se pueden deber a que durante la realización de un esfuerzo físico, los participantes con baja condición física utilicen más recursos cerebrales para llevar a cabo el esfuerzo que los participantes con alta condición física (Chang et al., 2012), debido a que los participantes con alta condición física están mucho más adaptados física y cognitivamente a realizar esfuerzos de alta intensidad. Esta diferencia en la utilización de recursos cerebrales para llevar a cabo el esfuerzo, provocaría que los participantes con baja condición física dispongan de menos recursos para llevar a cabo la tarea atencional (Chang et al., 2012) durante la realización de un esfuerzo físico y con ello se observe una modulación en el normal funcionamiento del sistema cognitivo. Otro aspecto a tener en cuenta, aparte de las diferencias entre los grupos de participantes en cuanto a la experiencia y adaptación a la realización de esfuerzos de alta intensidad, es la diferencia que existe en cuanto a la experiencia en el pedaleo en un rango de cadencia determinado (e.g., entre 60 y 90 rpm), ya que en el Experimento 3 nuestros participantes con alta condición física formaban parte de clubs

de triatlón, por lo que están muy familiarizados con la realización de este tipo de esfuerzos en bicicleta.

En base a lo expuesto anteriormente, pensamos que la realización de un esfuerzo a una cadencia determinada, se puede enmarcar dentro de las teorías existentes alrededor de los efectos de la “*dual task*” (doble tarea) a nivel cognitivo, ya que se necesitarían recursos cerebrales para llevar a cabo el esfuerzo y al mismo tiempo mantener una determinada cadencia. Una de las teorías más aceptadas sobre la interferencia que causa la realización de dos tareas simultáneamente se basa en que al tener unos recursos cognitivos de procesamiento de información limitados, ambas tareas comparten dichos recursos, quedando por lo tanto, una menor cantidad de recursos para cada tarea individualmente (Kahneman, 1973; Pashler, 1998). Diferentes estudios han observado que la elección de pedaleo libre al realizar el esfuerzo físico tiene mayores beneficios a nivel atencional debido a que la demanda cognitiva requerida es menor (Davranche y Audiffren, 2004) y por otro lado, la habilidad en la coordinación motora para llevar a cabo el esfuerzo, moderan los efectos del esfuerzo sobre el rendimiento cognitivo (Pesce 2009). Debido a esto, pensamos que los participantes con alta condición física seleccionados en nuestro estudio tendrían una menor demanda cognitiva y con ello una menor utilización de recursos cognitivos para mantener una cadencia de pedaleo constante durante el esfuerzo, debido a que estaban más familiarizados y tenían más automatizada la realización de este tipo de actividades que los participantes con baja condición física (i.e., poseían una mayor habilidad en la coordinación a la hora de realizar esfuerzos en bicicleta). Aunque en nuestros diseños experimentales, nunca se realizó la tarea atencional simultáneamente con otra tarea (i.e., “*dual task*”), pensamos que este hecho podría haber influido directamente en la cantidad remanente de dichos recursos que disponían los participantes después de realizar el esfuerzo físico. Entonces,

¿el deporte practicado influiría en los resultados? ¿Observaremos los mismos efectos en participantes con alta condición física pero sin experiencia en la realización de esfuerzo en bicicleta? ¿Qué sucedería si seleccionáramos tenistas o nadadores con alta condición física?

Con todo lo descrito en los dos puntos anteriores, pensamos que es plausible justificar nuestros resultados en base a que los participantes con baja condición física tendrían menos cantidad de recursos metabólicos en la zonas cerebrales involucradas en el funcionamiento de la orientación espacial exógena (áreas del córtex temporoparietal y la corteza frontal; Corbetta et al., 2008) y metabólicos (hidratos de carbono, glucosa, O_2 ,...; Dietrich y Audiffren, 2011) por la realización del esfuerzo físico, manteniéndose esa diferencia durante al menos unos 20' aproximadamente después de finalizar el esfuerzo, de ahí que desaparezcan los típicos efectos de facilitación e IR. Pero, ¿Cuánto tiempo perdurarán estos cambios en el organismo? ¿Si aumentáramos el tiempo de la tarea atencional, observaríamos una desaparición de los efectos sobre la orientación espacial exógena? Las respuestas a todas estas cuestiones, que deberían de estudiarse en trabajos futuros, aumentarían el conocimiento en base a cuánto tiempo transcurre desde el cese del esfuerzo físico hasta que el cerebro recupera a nivel global su homeostasis y funcionamiento propio de situaciones de reposo (Dietrich y Audiffren, 2011).

En lo referido al efecto de la condición física de los participantes sobre el funcionamiento de la orientación espacial exógena en la condición de reposo, nuestros resultados no mostraron que dicha variable haya modulado esta función atencional, al contrario de los estudios en los que se ha estudiado otras funciones cognitivas, como por ejemplo el control ejecutivo (e.g., Albinet et al., 2010) o la vigilancia (e.g., Luque-Casado et al., 2013). Nuestros hallazgos van en la línea de los observados por Lum et al. (2002), que al igual que en nuestro estudio, no observaron ninguna diferencia entre

deportistas y no deportistas en el despliegue de la orientación exógena, aunque sí encontraron que el tipo de deporte practicado (de equipo vs. individuales) afectaba a dicha función. Estos autores observaron que los participantes que practicaban deportes colectivos tenían una mejor capacidad para orientar voluntariamente la atención hacia las localizaciones espaciales donde posiblemente aparecería el estímulo objetivo, sugiriendo que en este tipo de deportes (i.e., colectivos) los deportistas mejoran dicha capacidad debido a las características y naturaleza propias que definen a dichos deportes (ambiente cambiante, multitud de estímulos).

Como se ha mencionado anteriormente, un aspecto a destacar de los resultados obtenidos es que el nivel de condición física no parece afectar al rendimiento global de la tarea ya que no se ha observado ninguna modulación en los TRs ni en el porcentaje de respuestas erróneas en los participantes con baja condición física respecto a los participantes con alta condición física en las diferentes condiciones de actividad estudiadas. Estos resultados nos hicieron desechar las hipótesis enumeradas anteriormente, en las que planteamos la posibilidad de que el esfuerzo físico produjera un empeoramiento global de la orientación hacia estímulos con carácter exógeno o de que aumentara la reactividad a los estímulos periféricos. Este hecho nos hizo dotar de mayor importancia a la hipótesis de que los participantes con baja condición física, y por lo tanto con mayor efecto del esfuerzo físico intenso sobre su funcionamiento cognitivo, pudieran focalizar más su atención sobre el estímulo objetivo en detrimento del procesamiento del estímulo irrelevante.

Parece plausible pensar que, debido a que los participantes con baja condición física disponen de menos recursos cerebrales para llevar a cabo la tarea atencional tras realizar un esfuerzo físico, estos maximizan sus recursos en la captura y procesamiento

del estímulo objetivo en detrimento del procesamiento de la señal de aviso (“cue”, en nuestro caso los estímulos irrelevantes).

Con todos estos resultados (i.e., Experimento 1, 2 y 3), surgen cuestiones de vital importancia, ¿Dónde se encuentra el punto óptimo de nivel de condición de física de los participantes que permitiría observar efectos del esfuerzo físico sobre la orientación espacial exógena o por el contrario no observarlos? Y ¿qué relación existe con la intensidad del esfuerzo realizado? Serán necesarias futuras investigaciones para dar respuesta a estas cuestiones.

5.4. Efectos del esfuerzo físico puntual sobre el procesamiento de la señal y el objetivo.

5.4.1. Procesamiento de la señal y el objetivo.

Las explicaciones clásicas de los efectos de facilitación e IR se basan en la idea del “movimiento” de la atención en el espacio. Por ejemplo, según algunos autores (e.g., Klein, 2004; Posner y Cohen, 1984) la IR podría explicarse por el hecho de que, al no encontrarse el estímulo objetivo en el lugar señalado, la atención se reorientaría hacia otras localizaciones con el fin de favorecer la exploración de nuevas posiciones espaciales, lo que provocaría una inhibición para reorientar la atención a lugares que ya habían sido atendidos previamente. Esto ha llevado a algunos autores a proponer que la IR es un mecanismo que maximiza la eficacia de la búsqueda visual, ya que previene que la atención retorne a los lugares u objetos que ya han sido examinados (Klein, 1999, 2000; Posner y Cohen, 1984; Tipper, Driver y Weaver, 1991).

Las explicaciones más recientes se centran en el hecho de que la aparición de un elemento nuevo en nuestra escena visual siempre provoca un cierto grado de captura

atencional (Lupiañez et al., 2004). En base a este fenómeno de captura atencional Lupiañez (2010) propuso un nuevo marco de trabajo para entender e intentar explicar los mecanismos que provocan los típicos efectos de orientación. Por una parte, en SOAs cortos tanto la señal de aviso como el estímulo objetivo se integran dentro de un mismo objeto (“*object file*”), por lo que son considerados ambos como un objeto nuevo, beneficiándose por lo tanto de dicha captura atencional y repercutiendo positivamente en la velocidad de procesamiento del estímulo objetivo y con ello en la velocidad de respuesta (dando lugar al efecto de facilitación). Por otra parte, en SOAs largos, cuando el estímulo objetivo aparece en la misma posición que la señal de aviso (i.e., ensayos válidos), el sistema cognitivo no lo procesa como un objeto nuevo, debido a la habituación de la captura atencional en el lugar donde la atención había sido capturada previamente, por lo que la eficacia del fenómeno de captura atencional se vería reducida. Por el contrario, en los ensayos inválidos, el sistema cognitivo sí procesa el estímulo objetivo como un estímulo nuevo, favoreciéndose del fenómeno de captura atencional (dando lugar al efecto de IR) (Lupiañez, 2010).

Respecto a nuestros datos en general, sugerimos que lo que sucedió es que al realizar un esfuerzo físico los participantes tuvieron una mayor atención selectiva al estímulo objetivo y con ello una mayor captura atencional sobre este, es decir, focalizaron toda la atención en el estímulo objetivo en detrimento de los estímulos periféricos irrelevantes.

Como conclusión, podemos afirmar que tras la realización de un esfuerzo intenso, los participantes con baja condición física reducirían su capacidad para orientar la atención y la mirada hacia el estímulo distractor, en beneficio del procesamiento de estímulo objetivo.

5.4.2. Esfuerzo físico puntual y carga perceptiva.

Otra teoría dentro del campo de estudio del procesamiento cognitivo que consideramos relevante aquí es la de Lavie (1995). Esta autora formuló la Teoría de la Carga Perceptiva con el propósito de dar respuesta al debate existente entre la selección temprana (e.g., Broadbent, 1958) o tardía (e.g., Deutsch y Deutsch, 1963) de la información, afirmando que dicho debate se puede resolver teniendo en cuenta que la carga perceptiva es un determinante del futuro procesamiento selectivo de la información irrelevante. Para fundamentar su teoría, Lavie (1995) realizó varios experimentos utilizando el paradigma de Eriksen (Eriksen y Eriksen, 1974) en los que manipulaba la carga perceptiva mediante, 1) el aumento de estímulos distractores presentes en la pantalla, de uno (condición de baja carga perceptiva) a seis (condición de alta carga perceptiva), 2) se manipuló el color y la forma de los estímulos, teniendo que responder únicamente al color (baja carga perceptiva) o a la conjunción de ambos, color y forma (alta carga perceptiva) y 3) manipuló la carga perceptiva mediante la detección vs. discriminación de los estímulos relevantes, teniendo que responder únicamente a la aparición de un estímulo nuevo en pantalla (detección; i.e., baja carga perceptiva) o responder mediante la identificación de la posición y forma exacta del nuevo estímulo presente en la pantalla (discriminación; i.e., alta carga perceptiva). Los resultados demostraron, que la carga perceptiva jugaba un papel importante a la hora de determinar la eficacia y/o funcionamiento de la atención selectiva, observándose que los estímulos distractores solo producían interferencia en la condiciones de baja carga perceptiva, siendo reducido el procesamiento de los estímulos distractores en las condiciones de alta carga perceptiva. Otros estudios (e.g., Schwartz et al., 2005; O'Connor, Fukui, Pinsk y Kstner, 2002) mediante la utilización de sistemas fMRI, observaron que la activación del córtex visual para el procesamiento de los estímulos

irrelevantes se veía reducida con el aumento de la carga perceptiva, apoyando de este modo a la teoría postulada por Lavie.

Nuestros resultados y las hipótesis explicativas de los efectos encontrados tienen cierto paralelismo con los descritos por la teoría de la carga perceptiva de Lavie (e.g., Lavie, 1995; Lavie, 2005 para una revisión). Dicha teoría se basa en el hecho de que un aumento de la carga perceptiva en la tarea atencional (i.e., generalmente por el aumento de la información relevante presente en pantalla, o por el aumento de estímulos irrelevantes), provoca una disminución de los recursos de procesamiento disponibles. Esta disminución de recursos afectaría directamente al rendimiento global en la tarea, observándose mayores TRs conforme mayor es la carga perceptiva presente en la tarea atencional, debido al aumento en la dificultad de la tarea. Lo importante aquí es que también se vería afectado el procesamiento de los estímulos irrelevantes que aparecen de forma abrupta en nuestro campo visual, observándose una menor captura y procesamiento de dichos estímulos en condiciones de alta carga perceptiva. Dicho de otro modo, esta limitación en el funcionamiento de la atención selectiva como se ha indicado anteriormente, se justifica por el hecho de poseer unos recursos de procesamiento limitados, y provoca que en condiciones de alta carga, mermen los recursos de procesamiento disponibles y como consecuencia, el procesamiento de los estímulos distractores se vea reducido (selección temprana). Por el contrario, en condiciones de baja carga perceptiva los estímulos no consumen tantos recursos, por lo que los estímulos irrelevantes son seleccionados y procesados (selección tardía). Este patrón de resultados ha sido replicado por diferentes estudios (e.g., Santangelo, Belardinelli y Spence, 2007; Santangelo, Finoia, Raffone, Belardinelli y Spence, 2008). En base a esta teoría de la carga perceptiva de Lavie podemos sugerir que, algo parecido pueda estar sucediendo tras la realización de un esfuerzo físico.

Como hemos descrito en apartados anteriores de esta tesis, la realización de un esfuerzo físico produce una disminución de la activación neuronal de las zonas cerebrales involucradas en el procesamiento cognitivo, debido a la demanda requerida por las zonas involucradas en el procesamiento motor (Chang et al., 2012; Dietrich, 2006), así como una disminución de los recursos metabólicos cerebrales (Dietrich y Audiffren, 2011). Por lo tanto, sugerimos que lo que puede estar sucediendo es que estos efectos del esfuerzo sobre la activación y metabolismo cerebral descritos anteriormente, junto con el hecho de mantener una cadencia determinada, tarea altamente demandante a nivel cognitivo (principalmente en los participantes con baja condición física, debido a la poca experiencia y adaptación en la realización de este tipo de esfuerzos) provocaría una disminución de los recursos disponibles en las zonas cerebrales involucradas en el funcionamiento de la orientación espacial exógena, provocando que se priorice el procesamiento del estímulo objetivo en detrimento de los estímulos irrelevantes.

Un aspecto a tener en cuenta, es que la teoría de la carga perceptiva se centra en una disminución de los recursos de procesamiento por el aumento de la carga perceptiva, pero solo durante la realización de la tarea. Sin embargo, no hemos encontrado estudios en los que se investigue el curso temporal de dicha disminución de los recursos de procesamiento debidos al aumento de la carga perceptiva. Nuestros resultados muestran efectos después de realizar el esfuerzo físico, y por tanto sugerimos que lo que podría estar pasando en la condición de esfuerzo, es que, al igual que hemos hipotetizado anteriormente en base al tiempo necesario que el cerebro necesita para recuperar su homeostasis y funcionamiento propio de las condiciones de reposo tras la realización de un esfuerzo físico, es plausible pensar que pueda suceder lo mismo con los recursos de procesamiento. Dicho de otro modo, esta disminución de la activación

de la zonas cerebrales involucradas en el funcionamiento cognitivo, así como de recursos metabólicos que afectan directamente al metabolismo cerebral y que puede estar afectando a la cantidad de recursos de procesamiento, perdura en el tiempo al menos 20'. Para conocer el tiempo exacto, así como su relación directa con la intensidad y duración del esfuerzo realizado, necesitaríamos realizar nuevos estudios donde se controle el estrés fisiológico provocado por el esfuerzo mediante la manipulación tanto de la intensidad como de la duración del mismo.

En contraposición a lo sugerido por la teoría de la carga perceptiva, en nuestro caso no hemos encontrado que la actividad afecte al rendimiento global de la tarea atencional a nivel comportamental, pues como se ha indicado anteriormente, no se observó una disminución global ni en la velocidad ni en la precisión de la respuesta. Estas diferencias entre nuestros resultados y los de Lavie (e.g., Lavie, 1995; Santangelo et al., 2008) puede estar causada por el hecho de que en este tipo de estudios, al manipular la carga perceptiva de la tarea atencional, y con ello reducir los recursos de procesamiento disponible, también manipulan la dificultad de la misma (i.e., a mayor carga perceptiva, mayor dificultad de la tarea), pudiendo ser dicho aumento en la dificultad el que provoque un deterioro global en el rendimiento al realizar la tarea atencional. Dicho de otro modo, aparte de reducir los recursos de procesamiento disponibles, el aumento de la carga perceptiva provoca un aumento de las demandas cognitivas requeridas por la tarea, es decir, la dificultad de la misma, y que probablemente esté afectando al rendimiento global de las respuestas. En nuestros estudios, por el contrario, la reducción de recursos no viene justificada por una manipulación de la carga perceptiva ni de la dificultad de la tarea atencional (que se mantienen constantes), sino que dicha reducción en los recursos disponibles fue provocada por la realización de un esfuerzo físico puntual.

Por otro lado, en el Experimento 4 observamos que los TR en los ensayos con presencia de distractores eran muy diferentes en las diferentes condiciones de actividad (i.e., “rest”, “post-effort”), observándose tanto menores tiempos de respuesta como tiempos más rápidos en el inicio de la primera sacada hacia el estímulo objetivo en la condición inmediatamente después del esfuerzo respecto a la de reposo ($F(1,6) = 6.30$, $p = .04$ y $F(1,6) = 20.73$, $p = .004$, respectivamente). Sin embargo, no existían diferencias significativas entre las dos condiciones de esfuerzo cuando no se presentaba el objeto distractor, ni en el análisis de los TR ni de los movimientos oculares ($F(1,6) = 1.15$, $p = .32$ y $F < 1$, respectivamente) (ver Figure 28 y 29). Este hecho plantea otra nueva hipótesis que pudiera explicar los datos obtenidos desde un punto de vista inhibitorio¹³. Estudios previos, observaron que la realización de un esfuerzo físico produjo una mejora en el control cognitivo, y más concretamente en la función inhibitoria (e.g., Tomporowski, 2003; Tomporowski et al., 2005). Por tanto, la diferencia en los TR de los ensayos con distractor entre las diferentes condiciones de actividad observada en nuestro estudio, podría deberse, a que en la condición inmediatamente después del esfuerzo mejorase la capacidad de inhibir el procesamiento de los estímulos distractores que aparecían en su campo visual en comparación con la condición de reposo. Dicho de otro modo, la realización de un esfuerzo físico provocó una mejora en la función inhibitoria en los minutos inmediatamente posteriores a la finalización del esfuerzo, afectando a la captura automática de los estímulos distractores. Tradicionalmente, el fenómeno de captura atencional por la aparición de un estímulo potencialmente relevante por sus características en nuestro campo visual se ha relacionado con procesos automáticos, es decir, “por defecto” (Jonides, 1981; Jonides y Yantis, 1988). En los últimos años, la automaticidad de la captura atencional ha sido tema de debate,

¹³ Agradecer a la Doctora Caterina Pesce por esta sugerencia.

entendiendo por proceso automático, aquel que ocurre independientemente de la disponibilidad de recursos de procesamiento, y no se ve afectado por las intenciones o estrategias de la persona (Jonides, 1981; Posner y Snyder, 1975;). Sin embargo, diferentes estudios han demostrado que la captura atencional puede verse modulada por diferentes mecanismos (ver Ruz y Lupiáñez, 2002 para una revisión), por ejemplo, por las estrategias que adopta el participante para hacer frente a la tarea en cuestión (e.g., Lupiáñez, Milliken, Solano, Weaver y Tipper, 2001; Lupiáñez y Milliken, 1999), o por el aumento de la carga perceptiva (e.g., Lavie, 1995; Santangelo et al., 2008).

En cualquier caso, hay que tener en cuenta que todas estas hipótesis discutidas más arriba son especulaciones basadas en los resultados obtenidos en nuestra serie experimental, de modo que, para conocer exactamente los mecanismos tanto cerebrales como fisiológicos que se ven afectados por la realización de un esfuerzo físico y que repercuten directamente en el normal funcionamiento del sistema atencional, serán necesarias futuras investigaciones que aclaren de forma específica estas cuestiones.

VI. CONCLUSIONES FINALES

Esta tesis doctoral ha profundizado en el estudio de la relación entre el esfuerzo físico puntual y el funcionamiento de la orientación espacial exógena, considerando el papel que puede jugar la intensidad del esfuerzo realizado o la condición física de los participantes, sobre dicha relación. A continuación describiremos las conclusiones aportadas en base a los resultados obtenidos:

- La modulación de la orientación espacial exógena (i.e., disminución de los efectos de facilitación e IR) tras la realización de un esfuerzo intenso depende de la condición física de los participantes.
- Los participantes con buena condición física tienen un menor efecto del esfuerzo intenso sobre el funcionamiento de la orientación espacial exógena.
- Los resultados parecen apoyar la hipótesis de que, en participantes con baja condición física, la realización de un esfuerzo intenso provoca una disminución en la captura atencional producida por los estímulos irrelevantes para la realización de la tarea.

Estos hallazgos permiten avanzar en el conocimiento sobre los efectos de la realización de esfuerzos físicos puntuales sobre el funcionamiento atencional

VII. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Todos los hallazgos y conclusiones obtenidas en nuestra serie experimental esbozan multitud de preguntas por responder. Por ejemplo, como ya he mencionado, ¿Qué nivel de condición física será necesario para observar o no los efectos del esfuerzo físico sobre la orientación espacial exógena y qué relación mantienen con la intensidad del esfuerzo realizado? ¿La maestría o experiencia previa en la realización de cada tipo de ejercicio físico modularía los efectos del esfuerzo sobre la orientación exógena? ¿Qué efectos encontraríamos si utilizáramos estímulos de carácter endógeno? ¿Qué sucedería si aumentáramos el número de estímulos objetivos (i.e., relevantes) presentes en la tarea atencional? ¿Y si aumentáramos el número de distractores?

En primer lugar, consideramos de gran relevancia llevar a cabo un experimento que compare de forma directa, mediante el análisis de movimientos oculares, entre participantes con alta y baja condición física la magnitud de la captura atencional producida por la aparición de estímulos irrelevantes en el campo visual tras la realización de un esfuerzo físico. Los resultados de nuestro Experimento 4 mostraron que la desaparición de los efectos de facilitación e IR tras la realización de un esfuerzo físico en participantes con baja condición física se debe a la pérdida de captura atencional producida por los estímulos irrelevantes y/o distractores. Según nuestro planteamiento, esperaríamos encontrar una mayor captura atencional por parte de los estímulos distractores tras la realización de un esfuerzo físico en los participantes con alta condición física, en comparación a los participantes con una baja condición física.

En segundo lugar, resultaría altamente interesante determinar el nivel de condición física necesario y su relación con la intensidad del esfuerzo realizado para que el esfuerzo no modulara el normal funcionamiento de la orientación espacial exógena. Para ello podríamos investigar el efecto de la condición física y la intensidad del esfuerzo sobre la relación citada anteriormente mediante la selección de diferentes

grupos de participantes con niveles de condición física diferentes (e.g., muy baja, baja, media, alta, muy alta) en función de los percentiles del $\text{VO}_2\text{máx.}$ descritos por el “*American College of Sport Medicine*” (2005) y la realización de esfuerzos de distinta intensidad. Este diseño nos permitiría conocer el nivel de condición e intensidad necesaria para observar efectos sobre la orientación espacial exógena. Basándonos en nuestros propios resultados, esperaríamos observar que tan solo los participantes con baja o muy baja condición física (i.e., por debajo del percentil 20) experimentarían una modulación de la orientación atencional exógena tras realizar un esfuerzo intenso, observándose también esta modulación en participantes con una condición física media-alta (i.e., entre percentil 20 y 70) tras la realizar un esfuerzo hasta la extenuación.

En tercer lugar, también resultaría importante determinar como en participantes con alta condición física, el nivel de experiencia o maestría en la realización de cada tipo de esfuerzo (ciclismo y/o carrera), podría modular los efectos del esfuerzo físico sobre la orientación espacial exógena debido a las diferencias en las demandas cognitivas requeridas a la hora de realizar cada tipo de esfuerzo (experiencia en el mantenimiento de una determinada cadencia de pedaleo o zancada). Para este fin, se podría seleccionar a 3 grupos de participantes, en función de su condición física y de su maestría con la realización de esfuerzos en bicicleta, es decir, un grupo de participantes con baja condición física, otro con alta condición física y alta maestría en realizar esfuerzos en bicicleta (i.e., ciclistas, triatletas,...) y por último un grupo de participantes con alta condición física y baja maestría en la realización de esfuerzos en bicicleta (i.e., tenistas, nadadores,...). Debido a que la realización de un esfuerzo en bicicleta a una determinada cadencia, como he mencionado anteriormente se puede considerar como “*dual task*” a nivel cognitivo, y las demandas cognitivas dependerán del nivel de maestría y/o aprendizaje en este tipo de tareas, esperaríamos observar mayores efectos

sobre la orientación espacial exógena en los participantes con baja condición física y con alta condición física pero baja maestría, respecto a aquellos participantes con alta condición física y un alto nivel de maestría.

En cuarto lugar, sería interesante conocer el funcionamiento de la orientación espacial endógena tras la realización de un esfuerzo físico entre participantes con alta y baja condición física. En base a nuestra observación respecto a la disminución de los efectos atencionales por la pérdida de captura atencional de los estímulos irrelevantes y a los reportados por Pesce et al. (2002, 2003, 2007a) donde no observó ninguna modulación del esfuerzo físico sobre la señal endógena (efecto “*cueing*”), esperaríamos replicar estos hallazgos y observar que ni el esfuerzo ni la condición física modularían el efecto de la señal endógena (i.e., “*cueing*”), debido a que las señales endógenas son relevantes para el desempeño de la tarea atencional. Por otra parte, al aumentar el número de estímulos relevantes, junto con los efectos del ejercicio físico, y siguiendo los efectos descritos en la teoría de la carga perceptiva, es plausible sugerir que se esperaba observar una disminución en el rendimiento general de la tarea, debido a que la demanda cognitiva requerida por la tarea atencional sería mayor.

Finalmente, resultaría interesante conocer el funcionamiento de la orientación espacial exógena tras la realización de un esfuerzo físico con la presentación de un mayor número de estímulos relevantes o por el contrario, aumentando el número de distractores o estímulos irrelevantes. Con un aumento del número de distractores, en base a nuestros resultados y a que la aparición de un único estímulo distractor tiene más poder para atraer la atención (Jonides, 1981) debido a su mayor saliencia perceptiva, esperaríamos que este aumento en el número de distractores no modificara nuestros resultados. Por otra parte, al aumentar el número de estímulos relevantes, en base a la teoría de la carga perceptiva descrita anteriormente, esperaríamos encontrar una menor

captura atencional por parte de los estímulos distractores, y con ello una mayor disminución de los típicos efectos de facilitación e IR.

A la vista de estas nuevas ideas, es evidente que finalizar una tesis doctoral no conlleva necesariamente finalizar una línea de investigación, ya que, las preguntas surgen unas de otras conforme se va avanzando en conocimiento. Así, creemos que esta tesis puede ser el inicio para futuros proyectos prometedores.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aks, D. J. (1998). Influence of exercise on visual search: Implications for mediating cognitive mechanisms. *Perceptual and Motor Skills*, 87, 771–783.
- Albinet, C. A., Boucard, G., Bouquet, C. A., & Audiffren, M. (2010). Increased heart rate variability and executive performance after aerobic training in the elderly. *European Journal of Applied Physiology*, 109(4), 617-624.
- American College of Sports Medicine. (2005). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. 7th. London: Lippincott Williams & Wilkins.
- Arcelin, R., Delignieres, D., & Brisswalter, J. (1998). Selective effects of physical exercise on choice reaction processes. *Perceptual and Motor Skills*, 87, 175-185.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2009). Acute aerobic exercise and information processing: Modulation of executive control in a Random Number Generation task. *Acta Psychologica*, 132, 85-95.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychologica*, 129, 410-419.
- Azizian, A., & Polich, J. (2007). Evidence for attentional gradient in the serial position memory curve from event-related potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 19, 2071–2081.
- Bailey, S. P., Holt, C., Pfluger, K. C., La Budde, Z., Afergan, D., Stripling, R., Miller, P. C., & Hall, E. E. (2008). Impact of prolonged exercise in the heat and carbohydrate supplementation on performance of a virtual environment task. *Military Medicine*, 173(2), 187–192.
- Bessa, A., Oliveira, V. N., De Agostini, G. G., Oliveira, R. J., Oliveira, A. C., White, G., Wells, G., Teixeira, D.N., & Espindola, F. S. (2013). Exercise intensity and

- recovery: Biomarkers of injury, inflammation and oxidative stress. *Journal of Strength & Conditioning Research*. In press.
- Brisswalter, J., Arcelin, R., Audiffren, M., & Delignières, D. (1997). Influence of physical exercise on simple reaction time: effect of physical fitness. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 1019-1027.
- Boot, W. R., Kramer, A. F., Simons, D. J., Fabiani, M., & Gratton, G. (2008). The effects of video game playing on attention, memory, and executive control. *Acta Psychologica*, 129, 387-398.
- Broadbent, D. E. (1958). *Perception and communication*. London: Pergamon Press.
- Callejas, A., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2004). The three attentional networks: On their independence and interactions. *Brain and Cognition*, 54, 225-227.
- Carrel, A. L., Sledge, J. S., Ventura, S. J., Clark, R. R., Petersen, S. E., Eickhoff, J. C., & Allen, D. B. (2007). Measuring aerobic cycling power as an assessment of childhood fitness. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 685-688.
- 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., & Etnier, J. L. (2009). Effects of an acute bout of localized resistance exercise on cognitive performance in middle-aged adults: A randomized controlled trial study. *Psychology of Sport and Exercise*, 10, 19-24.
- Chaouloff, F. (1997). The serotonin hypothesis. In: W. P. Morgan (Ed.), *Physical Activity and Mental Health* (pp. 179–198). Washington, DC: Taylor & Francis.
- Chica, A. B., & Lupiáñez, J. (2004). Inhibición de retorno sin retorno de la atención. *Psicothema*, 16(2), 248-254.

- Chica, A. B., Lupiáñez, J., & Bartolomeo, P. (2006). Dissociating inhibition of return from endogenous orienting of spatial attention: Evidence from detection and discrimination task. *Cognitive Neuropsychology*, 23(7), 1015-1034.
- Chica, A. B., Taylor, T., Lupiáñez, J., & Klein, R. M. (2010). Two mechanism underlying inhibition of return. *Experimental Brain Research*, 210(1), 25-35.
- Chmura, J., Kryzstofiak, H., Ziemba, A. W., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (1998). Psychomotor performance during prolonged exercise above and below the blood lactate threshold. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 77, 77-80.
- Chmura, J., Nazar, K., & Kaciuba-Uscilko, H. (1994). Choice reaction time during graded exercise in relation to blood lactate and plasma catecholamine thresholds. *International Journal of Sports Medicine*, 15, 172-176.
- Chmura, J., Nazar, K., Kaciuba-Uscilko, H., & Pilis, W. (2002). The changes in psychomotor performance during progressive endurance exercise. *Journal of Human Kinetics*, 7, 3-10.
- Clark, C. R., Geffen G. M., & Geffen, L. B. (1989). Catecholamines and the covert of attention in humans. *Neuropsychology*, 27, 131-139.
- Colcombe, S. F., & Kramer, A. F. (2003). Fitness effects on the cognitive function of older adults: a meta-analytic study. *Psychological Science*, 14, 2125-2130.
- Collardeau, M., Brisswalter, J., & Audiffren, M. (2001). Effects of a prolonged run on simple reaction time of well trained runners. *Perceptual and Motor Skills*, 93, 679-689.
- Cooper, C. J. (1973). Anatomical and physiological mechanisms of arousal with specific reference to the effects of exercise. *Ergonomics*, 16, 601-609.

- Corbetta, M., Patel, G., & Shulman, G. L. (2008). The Reorienting System of the Human Brain: From Environment to Theory of Mind. *Neuron*, 58, 306-324.
- Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3, 201-215.
- Correa, A. (2005). *Percepción atencional basada en expectativas temporales: estudios comportamentales y electrofisiológicos*. Tesis Doctoral. Universidad de Granada, Granada.
- Correa, A., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2004). La orientación de la atención en el tiempo. In J. J. Ortells, C. Noguera, M. T. Daza, & E. Carmona (Eds.), *La atención: un enfoque multidisciplinar*. Valencia: Promolibro.
- Correa, A., Lupiáñez, J., & Tudela, P. (2006). The attentional mechanism of temporal orienting: determinants and attributes. *Experimental Brain Research*, 169(1), 58-68.
- Coull, J. T., & Nobre, A. C. (1998). Where and when to pay attention: the neural system for directing attention to spatial locations and to time intervals as revealed by both PET and fMRI. *Journal of Neuroscience*, 18, 7426-7435.
- Coull, J. T., Frith, C. D., Büchel, C., & Nobre, A. C. (2000). Orienting attention in time: Behavioural and neuroanatomical distinction between exogenous and endogenous shifts. *Neuropsychologia*, 38, 808-819.
- Craig, N., Walsh, C., Martin, D. T., Woolford, S., Bourdon, P., Stanef, T., Barnes, P., & Savage, B. (2000). Protocols for the physiological assessment of high performance track, road and mountain cyclist. In C. J. Gore (Ed.), *Physiological Tests for Elite Athletes* (pp. 258-277). Champaign: Human Kinetics.

- 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, 136-145.
- Davranche, K., & Audiffren, M. (2004). Facilitating effects of exercise on information processing. *Journal of Sport Sciences*, 22, 419-428.
- Davranche, K., Audiffren, M., & Denjean, A. (2006a). A distributional analysis of the effect of physical exercise on a choice reaction time task. *Journal of Sport Science*, 24(3), 323-329.
- Davranche, K., Burle, B., Audiffren, M., & Hasbroucq, T. (2006b). Physical exercise facilitates motor processes in simple reaction time performance: An electromyographic analysis. *Neuroscience Letters*, 396(1), 54-56.
- Davranche, K., Hall, B., & McMorris, T. (2009). Effect of Acute Exercise on Cognitive Control Required During an Eriksen Flanker Task. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 31, 628-639.
- Desimno, R., & Duncan, J. (1995). Neural mechanism of selective visual attention. *Annual Review of Neuroscience*, 18, 193-222.
- Deutsch, J. A., & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80- 90.
- Dietrich, A. (2003). Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: The transient hypofrontality hypothesis. *Consciousness and Cognition*, 12, 231–256.
- Dietrich, A. (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological effects of exercise. *Psychiatry Research*, 145, 79-83.
- Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH) model of acute exercise. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35, 1305-1325.

- Dishman, R. K. (1997). The norepinephrine hypothesis. In W. P. Morgan (Ed.), *Physical Activity and Mental Health* (pp. 199–212). Washington, DC: Taylor & Francis.
- Ditchburn, R. W. (1973). *Eye movements and visual perception*. Oxford: Clarendon Press.
- Duffy, E. (1972). Activation. In N. S. Greenfield & R. A. Sternbach (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 577-595). New York: Holt, Rinehart and Winston.
- Dukewich, K. R. (2009). Reconceptualizing inhibition of return as habituation of the orienting response. *Psychonomic Bulletin and Review*, 16, 238-251.
- Ehlenz, H., Grosser, M., & Zimmermann, E. (1985). *Entrenamiento de la fuerza*. Munich: BLV.
- Eriksen, B. A., & Eriksen, C. W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception and Psychophysics*, 16, 143-149.
- Eriksen, B. A., & Yeh, Y. Y. (1985). Allocation of attention in the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 583 - 597.
- Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., ... Kramer, A. F. (2011). Exercise training increases size of hippocampus and improves memory. *PNAS*, 108(7), 3017-3022.
- 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 Review*, 52, 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, 249-277.
- 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.
- Grego, F., Vallier, J. M., Collardeau, M., Bermon, S., Ferrari, P., Candito, M., Bayer, P., Magnié, M. N., & Brisswalter, J. (2004). Effects of long duration exercise on cognitive function, blood glucose, and counterregulatory hormones in male cyclists. *Neuroscience Letters*, 364, 76-80.
- Greiwe, J. S, Hickner, R. C, Suresh, D. S, Cryer, P. E., & Holloszy, J. O. (1999). Norepinephrine response to exercise at the same relative intensity before and after endurance training. *Journal of Applied Physiology*, 86, 531-535.
- Heckler, B., & Croce, R. (1992). Effects of time of posttest after two durations of exercise on speed and accuracy of addition and subtraction by fit and less-fit women. *Perceptual and Motor Skills*, 75, 1059-1065.
- Hernández Moreno, J. (1994). *Fundamentos del deporte Análisis de la estructura del juego deportivo*. Barcelona: Edita INDE.
- Hillman, C. H., Castelli, D. M., & Buck, S. M. (2005). Aerobic fitness and cognitive function in healthy preadolescent children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 1967-1974.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: exercise effects on brain and cognition. *Nature Review in Neuroscience*, 9, 58-65.

- Hillman, C. H., Kramer, A. F., Belopolsky, A. V. & Smith, D. P. (2006) Physical activity, aging, and executive control: implications for increased cognitive health. *International Journal of Psychophysiol*, 59, 30-39.
- Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A. F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159, 1044-1054.
- Hoffman, P. (1997). The endorphin hypothesis. In W. P. Morgan (Ed.), *Physical Activity and Mental Health* (pp. 161–177). Washington, DC: Taylor & Francis.
- Hogervorst, E., Riedel, W., Jeukendrup, A., & Jolles, J. (1996). Cognitive performance after strenuous physical exercise. *Perceptual and Motor Skills*, 83, 479-488.
- Hohmann, A., Lames, M., & Letzelter, M. (2005). *Introducción a la ciencia del entrenamiento*. Barcelona: Paidotribo.
- Huertas, F., Zahonero, J., Sanabria, D., & Lupiáñez, J. (2011). Functioning of the Attentional Networks at Rest vs. During Acute Bouts of Aerobic Exercise. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33, 649-665.
- Ide, K., Schmalbruch, I. K., Quistorff, B., Horn, A., & Secher, N. H. (2000). Lactate, glucose and O₂ uptake in human brain during recovery from maximal exercise. *Journal of Physiology*, 522, 159-164.
- Jonides, J. (1981). Voluntary versus automatic control over mind's eyes. In J. Long, A. Baddeley (Eds), *Attention and performance IX* (pp. 187-204). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Jonides, J., & Mack, R. (1984). On the cost and benefit of cost and benefit. *Psychological Bulletin*, 96, 29-44.
- Jonides, J. and Yantis, S. (1988). Uniqueness of abrupt visual onset in capturing attention. *Perception and Psychophysics*, 43, 346-354.

- Jorgensen, L. G., Perko, M., Hanel, B., Schroeder, T. V., & Secher, N. H. (1992). Middle cerebral artery flow velocity and blood flow during exercise and muscle ischemia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 72, 1123-1132.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs: Prentice-Hall.
- Kamijo, K., Nishihira, Y., Hatta, A., Kaneda, T., Wasaka, T., Kida, T., & Kuroiwa, K. (2004). Differential influences of exercise intensity on information processing in the central nervous system. *European Journal of Applied Physiology*, 92, 305-311.
- Klein, R. M. (2000). Inhibition of return. *Trends in cognitive Science*, 4, 138-147.
- Klein, R. M. (2004). Orienting and inhibition of return. In M. S. Gazzaniga (Ed.), *The cognitive neurosciences* (pp. 545-559). Cambridge, MA: MIT Press.
- Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. (2013). Decline in executive control during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness level. *Brain and Cognition*, 81, 10-17.
- LaBerge, D. (1995). *Attentional processing: The brain's art of mindfulness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: a meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24.
- Lavie, N. (1995). Perceptual load as a necessary condition for selective attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception*, 21, 451-468.
- Lavie, N. (2005). Distracted and confused?: selective attention under load. *Trends in Cognitive Science*, 9, 76-82.
- Luce, R. D. (1986). *Response times: Their role in inferring elementary mental organization*. New York: Oxford University Press.

- Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013). Influence of Physical fitness on the effect of sustained attention, temporal orienting of attention, and temporal discrimination on heart rate variability. *Plos one*, 8(2):e56935.
- 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, 156-167.
- Lupiáñez, J. (2010). Inhibition of return. In A. C. Nobre, & J. T. Coull (Eds.), *Attention and time*. OUP.
- Lupiáñez, J., Decaix, C., Siéoff, E., Chokron, S., Milliken, B., & Bartolomeo, P. (2004). Independent effects of endogenous and exogenous spatial cueing: Inhibition of return at endogenously attended target locations. *Experimental Brain Research*, 159, 447–457.
- Lupiáñez, J., Klein, R. M., & Bartolomeo, P. (2006). Inhibition of return: twenty years later. *Cognitive Neuropsychology*, 23(7), 1003-1014.
- Lupiáñez, J., Milán, E., Tornay, F. J., Madrid, E., & Tudela, P. (1997). Does IOR occur in Discrimination Task? Yes, it does, but later. *Perception & Psychophysics*, 59, 1241-1254.
- Lupiáñez, J., Milliken, B., Solano, C., Weaver, B., & Tipper, S. P. (2001). On the strategic modulation of the time course of facilitation and inhibition of return. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 54(3), 753-773.
- Lupiáñez, J., Ruz, M., Funes, M. J., & Milliken, B. (2007). Tehe manifestation of attentional capture: facilitation or IOR depending on task demands. *Psychological Research*, 71, 77–91.

- Lupiáñez, J., Tornay, F., & Tudela, P. (1996). Location-Based IOR: A different Time Course for Detection and Discrimination task. IX congres of the European Society for Cognitive Psychology (ESCOP), Würzburg, Alemania.
- Marriott, T., Reilly, T., & Miles, (1993). The effect of physiological stress on cognitive performance in a simulation of soccer. In T. Reilly, J. Clarys, & A. Stibbe (Eds.), *Science and football II* (pp. 261–264). London: E and FN Spon.
- Martin, M. (1980). Attention to words in different modalities. Tour channel presentation with physical and semantic selection. *Acta Psychologica*, 44, 99-115.
- McInnes, S. E., Carlson, J. S., Jones, C. J., & Mckenna, M. J. (1995). The physiological load imposed on basketball players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 13, 387-97.
- McMorris, T., Collard, K., Corbett, J., Dicks, M., & Swain, J. P. (2008). A test of the catecholamines hypothesis for an acute exercise–cognition interaction. *Pharmacology Biochemistry and Behavior*, 89, 106–115.
- McMorris, T., & Graydon, J. (2000). The effect of incremental exercise on cognitive performance. *International Journal of Sport Psychology*, 31, 66-81.
- McMorris, T., & Hale, B. J. (2012). Differential effects of differing intensities of acute exercise on speed and accuracy of cognition: a meta-analytical investigation. *Brain and Cognition*, 80(3), 338-351.
- McMorris, T., & Keen, P. (1994). Effect of exercise on simple reaction times of recreational athletes. *Perceptual and Motor Skills*, 78, 123-130.
- McMorris, T., Tomporowski, P., & Audiffren, M. (2009). *Exercise and cognitive function*. Michigan: Wiley-Blackwell.
- Memmert, D. (2009). Pay attention! A review of visual attentional expertise in sport. *International Review of Sport and Exercise Psychology*, 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, 146-151.
- Milliken, B. (2002). Commentary on Ruz and Lupiáñez's «A review of attentional capture: On its automaticity and sensitivity to endogenous control». *Psicológica*, 23(2), 355-356.
- Milliken, B., Tipper, S. P., Houghton, G., & Lupiáñez, J. (2000). Attending, ignoring, and repetition: On the relation between negative priming and inhibition of return. *Perception & Psychophysics*, 62, 1280-1296.
- Monk, T. H. (1989). A visual analogue scale technique to measure global vigor and affect. *Psychiatry Research*, 27(1), 89-99.
- Moore, R. D., Romine, M. W., O'Connor, P. J., & Tomporowski, P. D. (2012). The influence of exercise-induced fatigue on cognitive function. *Journal Sports Sciences*, 30, 841-850.
- Myers, J., & Ashley, E. (1997) Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate, and the anaerobic threshold. *Chest*, 111, 787-795.
- Nielsen, H. B., Bredmose, P.B., Stromstad, M., Volianitis, S., Quistorff, B., & Secher, N. H. (2002). Bicarbonate attenuates arterial desaturation during maximal exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 93, 724-731.
- Nitsch, J. R., Neumaier, A., Marées, H., & Mester, J. (2002). *Entrenamiento de la técnica. Contribuciones para un enfoque interdisciplinar*. Barcelona: Paidotribo.
- Norman, D. A., & Bobrow, D. G., (1975). On data-limited and resource limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: willed and automatic control of behavior. In R. J. Davidson, G. E., Schwartz, & D. Shapiro (Eds.), *Consciousness and self-regulation*. New York: Plenum Press.

- Nougier, V., & Rossi, B. (1999). The development of expertise in the orienting of attention. *International Journal of Sport Psychology*, 30, 246-260.
- O'Connor, D.H., Fukui, M.M., Pinsk, M. A., & Kastner, S. (2002) Attention modulates responses in the human lateral geniculate nucleus. *Nature Neuroscience*, 5, 1203-1209.
- 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.
- Ommel, B. (1995). Stimulus-response compatibility and the Simon effect: Toward an empirical clarification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 21, 764-775.
- Pashler, H. E. (1998). *The psychology of attention*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Parasuraman, R., & Davies, D. R. (1984). *Varieties of attention*. Orlando: Academic Press.
- Pesce, C. (2012). Shifting the Focus From Quantitative to Qualitative Exercise Characteristics in Exercise and Cognition Research. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 34, 766-786.
- Pesce, C. (2009). An integrated approach to the effect of acute and chronic exercise on cognition: the linked role of individual and task constraints. In T. McMorris, P. D. Tomporowski, & M. Audiffren (Eds.), *Exercise and cognitive function* (pp. 213-226). West Sussex: Wiley and Sons.
- Pesce, C., Capranica, L., Tessitore, A., & Figura, F. (2002). Effects of a submaximal physical load on the orienting and focusing of visual attention. *Journal of Human Movement Studies*, 42, 401-420.

- Pesce, C., Capranica, L., Tessitore, A., & Figura, F. (2003). Focusing of visual attention under submaximal physical load. *International Journal of Sport Psychology*, 1, 275-292.
- Pesce, C., Casella, R., & Capranica, L. (2004). Modulation of visuospatial attention at rest and during physical exercise: Gender differences. *International Journal of Sport Psychology*, 35, 328-341.
- Pesce, C., Cereatti, L., Casella, R., Baldari, C., & Capranica, L. (2007a). Preservation of visual attention in older expert orienteers at rest and under physical effort. *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29, 78-99.
- Pesce, C., Cereatti, L., Forte, R., Crova, C., & Casella, R. (2010). Acute and chronic exercise effects on attentional control in older road cyclists. *Gerontology*, 57(2), 121-128.
- Pesce, C., Tessitore, A., Casella, R., Pirritano, M., & Capranica, L. (2007b). Focusing of visual attention at rest and during physical exercise in soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 25, 1259-1270.
- Platonov, V. M. (1988). *El entrenamiento deportivo. Teoría y metodología*. Barcelona: Paidotribo.
- Polich, J. (2004). Clinical application of the P300 event-related potential. *Physical Medicine & Rehabilitation Clinics*, 15,133-161.
- Pontifex, M. B., & Hillman, C. H. (2007). Neuroelectric and behavioral indices of interference control during acute cycling. *Clinical Neurophysiology: Official Journal of the International Federation of Clinical Neurophysiology*, 118, 570-580.
- Posner, M. I. (1978). *Chronometric explorations of mind*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Posner, M. I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 23-25.
- Posner, M. I. & Cohen, Y. (1984). Components of attention. In H. Bouma & D. Bowhuis (Eds.), *Attention and Performance X* (pp. 531-556). Hillsdale: Erlbaum.
- Posner, M. I., & Dehaene, S. (1994). Attentional networks. *Trends in Neuroscience*, 17(2), 75-79.
- Posner, M. I., Nissen, M., & Odgen, W. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H. L. Pick & E. Saltzman (Eds.), *Models of perceiving and processing information* (pp. 128-181). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates Inc.
- Posner, M. I., & Petersen, S. E. (1990). The attention system of the human brain. *Annual Review of Neuroscience*, 13, 25-42.
- Posner, M. I., Rafal, R. D., Choate, L. S., & Vaughan, J. (1985). Inhibition of return: Neural basis and function. *Cognitive Neuropsychology*, 2, 211-228.
- Posner, M. I., & Raichle, M. E. (1994). *Images of mind*. New York: Scientific American.
- Posner, N. I., Snyder, C. R. R., & Davidson, B. J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.
- Rasmussen, P., Stie, H., Nielsen, B., & Nybo, L. (2006). Enhanced cerebral CO₂ reactivity during strenuous exercise in man. *European Journal of Applied Physiology*, 96, 299-304.
- Reilly, T. (1991). Assessment of some aspects of physical fitness. *Applied Ergonomics*, 22, 291-294.

- Reulen, J. P. H. (1984). Latency of visually evoked saccadic eye movements I: Saccadic latency and the facilitation model. *Biological Cybernetics*, 50, 251-263.
- Reuter-Lorenz, P. A., Jha, A. P., & Rosenquist, J. N. (1996). What is inhibited in inhibition of return?. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 22(2), 367-378.
- Reynolds, J. H. & Chelazzi, L. (2004). Attentional modulation of visual processing. *Annual Review in Neurosciences*, 27, 611-647.
- Ruz, M., & Lupiáñez, J. (2002). A review of attentional capture: On its automaticity and sensitivity to endogenous control. *Psicológica*, 23(2), 283-309.
- Sanabria, D., Morales, E., Luque, A., Galvez, G., Huertas, F., & Lupiáñez, J. (2011). Effects of aerobic exercise on exogenous spatial attention. *Psychology of Sport and Exercise*, 12(5), 570-574.
- Santangelo, V., Finoia, P., Raffone, A., Belardinelli, M. O., & Spence, C. (2008). Perceptual load affects exogenous spatial orienting while working memory load does not. *Experimental Brain Research*, 184, 371-382.
- Santangelo, V., Belardinelli, M. O., & Spence, C. (2007). The suppression of reflexive visual and auditory orienting when attention is otherwise engaged. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception*, 33, 137-148.
- Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-prime user's guide*. Pittsburg: Psychology Software Tools Inc.
- Scully, D., Kremer, J., Meade, M. M., Graham, R., & Dudgeon, K. (1998). Physical exercise and psychological well being: A critical review. *British Journal of Sports Medicine*, 32, 111-120.

- Secher, N. H., Seifert, T., & Van Lieshout, J. J. (2008). Cerebral blood flow and metabolism during exercise: implications for fatigue. *Journal of Applied Physiology*, 104, 306-314.
- Seifert, T., & Secher, N. H. (2011). Sympathetic influence on cerebral blood flow and metabolism during exercise in humans. *Progress in Neurobiology*, 95(3), 406-426.
- Seirul-lo, F. (2002, Junio). La preparación física en deportes de equipo. Trabajo presentado en las Jornadas de rendimiento deportivo, Valencia.
- Simon, J. R. (1969). Reactions toward the source of stimulation. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 174-176.
- Schmidt, R. A. (1988). *Motor control and learning: A behavioral emphasis* (2 ed.). Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.
- Schwartz, S., Vuilleumier, P., Hutton, C., Maravita, A., Dolan, R. J., & Driver, J. (2005). Attentional load and sensory competition in human vision: modulation of fMRI responses by load at Fixation during task-irrelevant stimulation in the peripheral visual field. *Cerebral Cortex*, 15, 770-786.
- Smit, A. S., Eling, P. A., Hopman, M. T., & Coenen, A. M. (2005). Mental and physical efforts affect vigilance differently. *International Journal of Psychophysiology*, 57, 211-217.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of American College of Cardiology*, 37, 153-156.
- Theeuwes, J., Kramer, A. F., Hahn, S., & Irwin, D. E. (1998). Our eyes do not always go where we want them to go: Capture of the Eyes by New Objects. *Psychological Science*, 9(5), 379-385

- Tipper, S. P., Driver, J., & Weaver, B. (1991). Object-centred inhibition of return of visual attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology, A*, 289–98.
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica, 112*, 297-324.
- Tomporowski, P. D. (2009). Methodological issues: Research approaches, research design, and task selection. En T. McMorris, P. D. Tomporowski y M. Audiffren (Eds), *Exercise and Cognitive Function* (pp. 91–112). Chichester: John Wiley & Sons.
- Tomporowski, P., Cureton, K., Armstrong, L., Kane, G., Sparling, P., & Millard-Stafford, M. (2005). Short-term effect of aerobic exercise on executive processes and emotional reactivity. *International Journal of Sport and Exercise Psychology, 3*(2), 131–146.
- Tomporowski, P. D., & Ganio, M. S. (2006). Short-term effects of aerobic exercise on executive processing, memory, and emotional reactivity. *International Journal of Sport and Exercise Psychology, 4*, 57-72.
- Treisman, A. M. (1964). Selective attention in man. *British Medical Bulletin, 20*, 12-16.
- Valenciano, J. (2007). *Calidad y producción científica de las revistas españolas de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte*. Tesis Doctoral sin publicar. Universidad de Valencia, Valencia.
- Viru, A., & Viru, M. (2003). *Análisis y control del rendimiento deportivo*. Barcelona: Paidotribo.
- Voyer, D., Voyer, S., & Bryden, M. (1995). Magnitude of sex differences in spatial abilities: A meta-analysis and consideration of critical variables. *Psychological Bulletin, 117*, 250-270.

Weinberg, R. S., & Gould, D. (1995). *Foundations of sport and exercise psychology*. Illinois: Human Kinetics.

Williams, A. M., Davids, K., & Williams, J. G. (1999). *Visual perception and action in sport*. London: Routledge.

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (2007). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (6ª ed.). Barcelona: Paidotribo.

Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign, IL: Human Kinetics.

Yeh, M.P., Gardner, R.M., Adams, T.D., Yanowitz, F.G., & Crapo, R.O. (1983) "Anaerobic threshold": problems of determination and validation. *Journal of Applied Physiology*, 55, 1178-1186.

ANEXOS

Anexo 1

The influence of acute intense exercise on exogenous spatial attention depends on physical fitness level

Francesc Llorens¹, Daniel Sanabria^{2,3}, & Florentino Huertas¹

1. Departamento de Gestión y Ciencias Aplicadas a la Actividad Física, Universidad Católica de Valencia, Valencia, Spain.

2. Mind, Brain and Behavior Research Center, Universidad de Granada, Spain.

3. Departamento de Psicología Experimental, Universidad de Granada, Spain

Author Note

This research was supported by a grant from the Junta de Andalucía (Proyecto de Excelencia, SEJ- 06414) to Daniel Sanabria and Florentino Huertas, and grants from the Universidad Católica de Valencia (Project 2011-007-003; Project 2011-007-004) to Florentino Huertas, Daniel Sanabria and Francesc Llorens, and a grant “BEST 2012-270; from the Conselleria de Educación, Formación y Empleo to Florentino Huertas. We are grateful to James Roberts for his helpful comments during the process of writing this article.

Corresponding author:

Francesc Llorens Martínez

Departamento de Gestión y Ciencias Aplicadas a la Actividad Física, Universidad Católica de Valencia, Valencia, Spain.

C/Virgen de la Soledad, s/n. Torrent 46900 (Spain).

Phone : (+34) 96 363 74 12

Fax: 96 391 98 27

Email: franllorensm@gmail.com

Abstract

We investigated the effect of a previous bout of intense exercise on exogenous spatial attention. In Experiment 1, a group of participants performed an exogenous spatial task at rest (without prior effort), immediately after intense exercise, and after recovering from an intense exercise. The analyses revealed that the typical ‘facilitation effect’ (i.e., faster reaction times on cued than on uncued trials) immediately after exercise was positively correlated with participants’ fitness level. In Experiment 2, a high-fit and a low-fit group performed the same task at rest (without prior effort) and immediately after an intense exercise. Results revealed that, after the bout of exercise, only low-fit participants showed reduced attentional effects compared to the rest condition. We argue that the normal functioning of exogenous attention was influenced by intense effort, affecting low-fit participants to a larger extent than to high-fit participants. As a consequence, target processing was prioritized over irrelevant stimuli.

Keywords: exogenous spatial attention, intense aerobic exercise, physical fitness level.

1 Introduction

2 Spatial orienting selectively allocates attention to potentially relevant objects in
3 the visual field in order to enhance stimulus-relevant processing, while ignoring objects
4 that are irrelevant for the task at hand (e.g., Reynolds & Chelazzi, 2004). Attentional
5 orienting to a target stimulus may be either voluntarily guided by expectations of
6 relevant locations and object features (“voluntary” or “endogenous” attentional
7 orienting), or take place in a reflexive manner due to the salient properties of stimuli
8 (e.g., colour, form, size, location). This latter mode of attentional orientation is often
9 referred to as “attentional capture,” or “exogenous” attentional orienting (see Corbetta
10 & Shulman, 2002, for a review).

11 Exogenous spatial attention is typically investigated in lab-based settings where
12 participants perform at rest. Experimenters might even instruct participants to sit, calm
13 down and relax before starting the task if they notice visible signs of physiological
14 activation due to exercise (e.g., walking fast if they are late for the experiment).
15 However, in some situations, exogenous attention is deployed under physiological stress
16 induced by acute effort. In the context of sport, there are many examples of this. For
17 example, a tennis player’s exogenous attention may be captured to the location of an
18 unexpected shout coming from the audience after a long and physically intense rally.
19 Moreover, exogenous attention may be captured under the influence of moderate or
20 intense exercise in our daily lives. For instance, in large cities, it is not unusual to see
21 people walking fast, or even running, to get in their cars when they are late for work. In
22 these situations, their spatial attention while driving could be captured by unexpected,
23 and potentially relevant, events (e.g., a car horn) while still under the effects of
24 physiological activation induced by that fast walk or run.

Recent years have seen a growing interest in the study of the influence of acute exercise over cognitive processing (Hillman, Erickson, & Kramer, 2008; see McMorris, Tomporowski, & Audiffren, 2009, for a review). Acute physical effort has been related to changes in performance in a variety of tasks involving different cognitive demands ranging from conflict resolution to memory recall (see Tomporowski, 2003). Relevant here are the studies that have investigated cognitive performance immediately after an acute bout of effort. For instance, some studies have reported improvement in executive control (i.e., reduced conflict effects; e.g., Chang & Etnier, 2009; Hillman et al., 2009) and faster reaction times (RTs) after physical effort (e.g., Audiffren, Tomporowski, & Zagrodnik, 2008; Collardeau, Brisswalter, & Audiffren 2001). However, there are also studies that have shown impairments in cognitive performance (e.g., in visual discrimination; Moore, Romine, O'Connor, & Tomporowski, 2012) following an acute bout of aerobic exercise. These contradictory findings have led authors to identify several factors that might influence the relationship between acute effort and cognitive performance, such as the intensity and duration of physical exercise, and, more importantly, the particular cognitive demands of the task at hand (Brisswalter, Collardeau, & Arcelin, 2002; Dietrich & Audiffren, 2011; see Tomporowski, 2003 for a review). Regarding this latter issue, and relevant to the purpose of the present study, most of the research interested in the relationship between acute exercise and attention has focused on executive tasks examining endogenous (goal-directed) attention. However, there is limited empirical evidence concerning the impact of acute exercise on exogenous (stimulus-driven) attention.

Currently, it has been shown that cycling at a moderate aerobic intensity (88% of the anaerobic threshold, AT) modulates performance in an exogenous spatial attention task both during and after exercise (Sanabria et al., 2011). Alternatively, Huertas et al.

(Huertas, Zahonero, Sanabria, & Lupiañez 2011) did not show any effect of cycling at moderate and high aerobic intensities [80% and 95% of AT)] on exogenous spatial attention. Thus, it remains unclear as to whether exogenous attention can be influenced by an acute bout of exercise.

The negative effects of an intense (i.e., near 100% of AT) bout of exercise on cognitive performance is suggested to result from the metabolic changes elicited by an acute intense effort (e.g., oxygen uptake, glucose utilization, alterations in neurotransmitter mechanisms, changes in cerebral blood flow, increased lactate concentration; Dietrich & Audiffren, 2011; Ide, Schmalbruch, Quistorff, Horn, & Secher, 2000; Wilmore & Costill, 1994). Indeed, contrary to popular belief, physical exercise is a complex task, involving the coordinated functioning of sensory (e.g., primary and secondary cortices) and motor (e.g., primary motor cortex, cerebellum) brain areas (see Dietrich, 2006, for a review). Given the limited metabolic capacity of the brain, the neural and metabolic resources needed to activate sensory and motor regions during exercise might compete with the same resources necessary to perform cognitive tasks (Chang, Labban, Gapin, & Etnier, 2012; Dietrich, 2003; 2006).

Here, we address the question of whether a bout of acute intense exercise would influence the deployment of exogenous spatial attention. We used an exogenous cueing task whereby a spatial cue (an empty square), presented at the left or right of central fixation, was followed by the target stimulus (e.g., a letter X or O). We manipulated the stimulus onset asynchrony (SOA) between the cue and the target in order to obtain the typical facilitation [i.e., faster reaction times (RTs) at cued than at non-cued locations for the short SOA] and the inhibition of return (IOR) effects (i.e., faster RTs at uncued than at cued locations for the long SOA; see Lupiañez, 2010, for a review on this topic). Participants performed the spatial task at rest after following three different conditions:

1) short bout of intense exercise (100% AT), 2) after recovering to basal HR following the bout of intense exercise, and 3) a rest period matching the duration of the bout of exercise. We decided to ask participants to complete the task after exercise and not while exercising to avoid a confounding effect of body motion while performing the intense exercise. That is, individuals may experience difficulty in the exogenous cueing task, while simultaneously following the exercise protocol, as the cognitive demands of performing multiple tasks would increase. Since any metabolic change induced by acute intense effort gradually disappears after exercising (cf. Bessa et al., 2013; Ide et al., 2000), we considered the variable Time on task (i.e., recovery period) in our analyses. Based on the findings of Sanabria et al. (2011; “after the bout of effort” condition), we hypothesized an attenuation of exogenous attention, as indicated by reduced cueing effects, immediately after an acute bout of intense exercise compared to the rest condition. This effect will gradually disappear with time, with little or no effect after the recovery period.

Experiment 1

Method

Participants.

Eighteen male undergraduate students of Physical Education and Sport Sciences (Age range = 19-28 years old; Mean age = 22 ± 2 years old) participated in this study. Participants gave written informed consent prior to their inclusion and reported to be cycling and physically active between 2 and 6 hours per week, respectively. Participants had normal or corrected-to-normal vision, and no history of neuropsychological

impairment. The experiment was compliant with the procedures of the local ethics committee.

Apparatus and materials.

A Cardgirus Medical Pro cycle ergometer (Cardgirus Medical, G&G Innovación, La Bastida, Alava, Spain), adapted to accommodate each participant's height, was used to determine the AT and during the experiment proper to control effort in the different conditions of activity. We used a RS800CX Polar monitor (Polar Electro Oy, Kempele, Finland) to record the HR and a Lactate Pro lactate test meter and Lactate Pro strips (Arkray, Inc., Japan) to measure the participant's level of blood lactate accumulation during the threshold and experimental sessions. A 15" laptop PC was used to present the stimuli in the spatial attention task.

Procedure and design.

The participants completed four sessions over four separate days (with 2-5 days between sessions). In the first session, participants performed a submaximal exercise test to obtain their AT and they completed a short version of the exogenous spatial attention task for familiarisation. Prior to start of this session, participants rested for approximately 10 minutes and then their basal HR was annotated. Participants performed the spatial attention task at rest in three different activity conditions: after a bout of intense exercise (post-effort), after they had recovered their basal HR from a bout of intense exercise (after recovery), and after a rest period that matched the duration of the short bout of intense exercise (rest). The order in which these three experimental conditions were performed was counterbalanced across participants.

In the post-effort condition, participants completed the cognitive task immediately after (i.e., less than 1 minute; the time they took to get off the ergometer, to

sit in front of the computer and to start the task) cycling 5 minutes at 100% AT (with prior progressive intensity increments; see below for more details). We chose only 5 minutes at the AT to ensure that all participants were able to maintain the target intensity in a steady-state zone. In the after recovery condition the cognitive task was performed after completing the same bout of exercise followed by recovering to reach basal HR while sat in front of the computer. In the rest condition, participants were not subject to any physical effort prior to the spatial attention task. For all three conditions, participants were seated in front of the laptop at approximately 60 cm and completed the spatial attention task in a silent and dimly illuminated room.

Submaximal exercise test.

Prior to start of the test, the HR monitor was adjusted to the participant's chest and the cycle ergometer was set to the individual anthropometric characteristics. The AT protocol consisted of a submaximal incremental effort test. The participants were instructed to maintain a constant cadence between 60-100 rev • min⁻¹. The warm-up started at 50 W and the power output was increased 25 W every two minutes. The test began at 100 W, and power output was increased 30 W every 3 minutes. The level of lactate accumulation was measured during the 10 seconds before increasing power output. Determination of AT was based on the criteria established by Craig et al. (2002). Power output and HR at the participant's AT was defined as the power output and HR elicited by the stage prior to the AT. The test ended when participant acknowledged voluntary exhaustion and could no longer maintain the minimum cadence of 60 rev • min⁻¹, or when his HR reached the 95% of his theoretical maximum HR (HR_{max}) obtained from: $HR_{max} = 208 - 0.7 \cdot \text{Age}$ (Tanaka, Monahan, & Seals, 2001). The HR, power output, and lactate accumulation were annotated and used as indexes of the individual AT.

Submaximal exercise at constant intensity in the experimental conditions.

In both the post-effort and after recovery conditions, participants initially cycled for 2 minutes at 75 W and 2 more at 100 W (warm-up). The load was then increased to 130 W and further increments of 30 W every 3 minutes were applied until the participant reached 100% of his HR of AT (the target intensity). The mean elapsed time from the starting of the exercise until the participants reached the HR at AT was 8 minutes. Once the participants had reached the HR and power output corresponding to their AT, they were instructed to continue pedalling at constant cadence 60-100 rev · min⁻¹ for 5 minutes. The average total duration of the effort was 13 ± 3 minutes. Note, however, that all participants pedalled the same amount of time (5 minutes) at the target intensity. Differences in the total duration of the effort were due to differences in fitness level, i.e., the higher the fitness level the longer the time to reach the target intensity. The experimenter increased or reduced the resistance of the cycle ergometer in order to maintain the participants' HR in the target zone.

Cognitive Task.

The spatial attention task consisted of the presentation of a light grey-coloured cross (0.4° x 0.4°) on a black background at screen-centre, and served as the fixation point. After a random duration between 500 and 1500 ms, two boxes (3.80° x 4.80°) appeared left and right of the fixation point (5.5° from box-centre to cross-centre). Fifty milliseconds later, a white border surrounded one of the boxes. Following the presentation of the pre-cue, a target cue in the form of X or O (1°) appeared at the centre of one of the boxes for 100 ms. Each SOA (100 ms, 1000ms) and target location (cued, uncued) had the same probability of occurrence. Half of the participants were instructed to respond with the left button to the X letter and with the right button to the O letter. The reverse stimulus-response was assigned for the remaining half of participants. Two

response buttons, connected to the PC through a USB port, were used to collect participants' responses. The stimulus presentation and response collection were controlled via E-Prime Software (Schneider, Eschman, & Zuccolotto, 2002). The response window was set to 1900 ms and the time between trials was 760 ms. Prior to the start of the attentional task, the participants were instructed to fixate on the fixation cross, try to not move their eyes, and respond as fast as possible while trying to avoid errors. The task was divided in 8 blocks (1 practice and 7 experimental blocks) of 36 trials, including 4 catch trials, in which the target was not presented to prevent response anticipations. Participants were given feedback regarding their response accuracy only in the practice block. Participants' completed the practice block before the exercise in the two effort conditions (post-effort and after recovery) and before the rest period in the rest condition. A short rest of 5 seconds was allowed between blocks. The task lasted for approximately 18 minutes.

Design and statistical analysis.

Physiological data. For these data we used two-tailed t-tests (Bonferroni corrected for multiple comparisons) comparing the values from the three experimental sessions.

Cognitive data. A within-participant repeated-measures design was employed with the factors of Time on task (1, 2, 3), Activity condition (rest, post-effort, after recovery), SOA (100, 1000) and Cueing (cued, uncued). Note that in order to obtain a valid number of observations per condition in the Time on task factor data from the seven experimental blocks were collapsed in three levels (1 = blocks 1-2; 2 = blocks 3-4; 3 = blocks 5-7). Repeated-measures analyses of variance (ANOVA) were used to analyse the data. Statistical significance was established at $p < .05$.

Results

Physiological data analysis.

The mean participants' relative power output developed at the AT was $1.96 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ (range from 1.3 to $2.7 \text{ W} \cdot \text{Kg}^{-1}$). Considering this datum and that participants reported practicing sport between 2 and 6 hours per week, we could not consider our participants as entirely sedentary (see the guidelines of the American College of Sports Medicine, 2005).

Participants' HR was recorded in the three activity conditions. The power output and lactate accumulation were recorded in the post-effort and after recovery conditions. *T*-tests (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.006$) with the mean of participants' HR at the start of the attentional task between the post-effort (Mean = 144 ± 12 beats per minute (bpm)) and rest conditions (Mean = 71 ± 15 bpm), $t(17) = 17.66$, $p < .001$, $d = 8.56$, and between post-effort and after recovery conditions (Mean = 78 ± 10 bpm) $t(17) = 18.94$, $p < .001$, $d = 9.18$, showed statistically significant differences revealing that participants were under different physiological activation and cardiovascular stress. The difference in HR between rest and after recovery conditions was not statistical significant, $t(17) = -1.92$, $p = .06$. *T*-tests with the mean of participants' basal HR at the start of the experimental sessions between the post-effort condition (Mean = 72 ± 11 bpm) and rest condition (Mean = 69 ± 14 bpm), $t(17) = 1.81$, $p = .09$, between post-effort and after recovery conditions (Mean = 71 ± 15 bpm), $t(17) = 0.39$, $p = .69$, and between after recovery and rest conditions, $t(17) = 1.15$, $p = .27$, did not show statistically significant differences. These latter results suggest that participants were under similar physiological activation at the start of each of the experimental sessions.

The differences in mean power output (post-effort = 128 ± 22 W; after recovery = 127 ± 22 W), $t(17) = 0.13$, $p = .89$, and lactate accumulation (post-effort mean = 4.1 ± 1.4 mmol $\cdot$ L⁻¹; after recovery mean = 3.8 ± 1.2 mmol $\cdot$ L⁻¹), $t(17) = 0.57$, $p = .57$, between the post-effort and after recovery conditions during the acute bout of exercise were not significantly different (see Table 1). These results ensured that both bouts of exercise exerted similar physiological effects in the two experimental conditions.

Behavioural analyses.

Incorrect responses (7.36%), trials with RT below 200 ms (cf. Luce, 1986) and above 1000 ms (cf. Lupiáñez, Ruz, Funes, & Milliken, 2007) (3.59%) and data from the practice block were eliminated from the analyses. Since neither the main effect of Time on task, nor any of the interactions involving the factor Time on task reached statistical significance (all $ps > .1$) we decided to collapse the data on this factor.

The ANOVA with the factors of Activity condition, SOA, and Cueing revealed a significant interaction between SOA and Cueing, $F(1,17) = 12.41$, $p = .003$, $\eta^2 = 0.42$. Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.025$) replicated the typical facilitation effect at the 100 ms SOA, with faster RTs at cued compared to uncued trials, $F(1,17) = 6.50$, $p = .02$, $d = 0.42$, and the inhibition of return (IOR) effect at long SOA, observing faster RTs at uncued compared to cued trials, $F(1,17) = 10.39$, $p = .005$, $d = 0.87$. None of the remaining terms in the ANOVA reached statistical significance (all $ps > .05$) (see Table 2).

The accuracy data (i.e., number of correct responses) replicated RT effects with a significant interaction between SOA and Cueing, $F(1,17) = 7.94$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.32$.

Discussion

The results of Experiment 1 did not reveal any effect of intense acute effort on the subsequent performance of an exogenous spatial task. The apparent discrepancy between our results and those reported by Sanabria et al. (2011) and others (e.g., Audiffren et al., 2008; Marriotte, Reilly, & Miles, 1993) could be due to the duration of the exercise. Indeed, while participants in our study cycled for 5 minutes at the target intensity, participants in Sanabria et al. cycled for 20 minutes (and even longer durations have been used in other related studies; e.g., 90-minute treadmill running in Marriott et al.'s study). It is then plausible that 5 minutes of exercise at 100% AT was not sufficient to increase the physiological demands required to elicit changes on exogenous spatial attention. In effect, some studies have shown that exercise duration is an important moderator of the effects of exercise on cognitive performance (see Brisswalter et al., 2002; Lambourne & Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003). However, before drawing any firm conclusion from the results in Experiment 1 based on exercise duration, we decided to further examine the effect of intense exercise on exogenous attention.

Notably, a close look at our sample participants highlighted considerable variability in physical fitness levels. That is, participants' relative power output at AT ranged from 1.3 to 2.7 W • Kg⁻¹. The literature offers multiple examples of differences in cognitive performance during exercise as a function of fitness level (e.g., Brisswalter, Arcelin, Audiffren, Delignières, 1997; see Tomporowski, 2003, for a review). Thus, in order to further explore the role participants' physical fitness may have played in the outcome of the Experiment 1, we conducted simple correlation analyses on the attentional effect at each SOA (i.e., RT uncued – RT cued at the 100 ms SOA; RT cued – RT uncued at the 1000 ms SOA) between the post-effort, after recovery, and rest

activity conditions and the individual relative power output of AT. The analyses showed a significant positive linear relation between the facilitation effect (RT uncued-RT cued at the short SOA) in the post-effort condition and the individual relative power output, $r^2 = 0.41$, $p = .004$. This correlation indicated that the magnitude of the facilitation effect increased as the index of physical fitness level increased. There were no further significant correlations between activity conditions and power output at AT (all r^2 s < 0.09 and all $ps > .22$). The significant correlation between the facilitation effect and the relative power output at the AT reported here points to a critical role of fitness level on the relation between short intense exercise and exogenous spatial attention. Experiment 2 was designed to investigate this issue further.

In Experiment 2, we compared performance of two groups of participants (high-fit, low-fit) selected on the basis of their oxygen intake (VO_2) and relative power output at AT to investigate the role of physical fitness level on the deployment of exogenous spatial attention after a bout of intense aerobic effort. To increase the physical demands of the acute bout of effort participants performed an effort to exhaustion.

We expected a reduced magnitude of the attentional effects in the effort condition with respect to the control rest condition in low-fit participants but not in high-fit participants. This would be related to the larger physiological adaptation to effort of the latter group with respect to the former group (cf. McMorris, 2009). We did not have a clear a priori hypothesis regarding any potential difference between groups in the control rest condition without any prior bout of effort. On one hand, there are multiple examples of differences in cognitive performance as a function of fitness level (e.g., Etnier, Nowell, Landers, & Sibley, 2006; Etnier et al., 1997, for a review). On the other hand, the only study that has compared performance between athletes and non-athletes in an exogenous spatial task (Lum, Enns, & Pratt, 2002) reported no difference

in the magnitude of the attentional effects between the two groups. Replicating the results by Lum et al. in the rest condition would add support to the idea that cognitive improvements related to differences in physical fitness are selective (cf. Luque-Casado, Zabala, Morales, Mateo-March, & Sanabria, 2013).

Experiment 2

Method

Participants.

Thirty male undergraduate students from the Faculty of Physical Education and triathlon clubs (they practiced triathlon between 2 and 4 years, Mean = 3.3 ± 0.83 years) (Age range = 19-28 years old; Mean age = 24 ± 3 years old) participated in this study. Participants were divided in two groups according to their training habits (< 2 days per week for the low-fit group and between 4-7 days per week for the high-fit group) and corroborated with the VO_2 and $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ at their AT. Three participants who reported low training habits (< 2 days per week) showed values of VO_2 at AT of 55.5, 49.2 and 40.1 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ and relative power output of 4.1, 3.7, and 3.0 $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ respectively. These values were close to the mean values of the hit-fit participants 44.8 $\text{ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 3.5 $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$. Therefore, in order to maintain our inclusion criteria (i.e., the training habits at the period of data collection) and a similar number of participants in both groups, we decided to discard the data of these participants from the analyses. As a result, the mean VO_2 and $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ at AT were $44.8 \pm 5.4 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 3.5 $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ for the high-fit group ($N = 14$) and $27.3 \pm 6.2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$ and 2.2 $\text{W} \cdot \text{Kg}^{-1}$ for the low-fit group ($N = 13$). All participants gave informed consent prior to their inclusion, had normal or corrected-to-normal vision, and no history of

neuropsychological impairment. This experiment was performed under the ethical approval of the local ethics committee.

Apparatus, materials, procedure and design.

We followed the same methods as Experiment 1 with the exception of the following: The JAEGER Master Screen gas analyser (CareFusion GmbH, Germany) was used to provide a measure of gas exchange during the activity conditions, and a ViaSprint 150 P cycle ergometer (Ergoline GmbH, Germany) was used to perform the exercise bout. In this case, we did not measure lactate concentration since we directly obtained the VO_2 values from gas-exchange analyses.

The participants completed two sessions over two separate days (with 2 to 5 days between sessions). Prior to the start, participants rested for approximately 10 minutes to obtain their basal HR. They then completed a reduced version of the attentional task (1 block of 24 trials with feedback and 1 block of 36 trials without feedback) to familiarize themselves. Following this short practice period, they completed one of two experimental conditions: the rest activity condition and the post-effort activity condition. The order in which these two conditions were performed was counterbalanced across participants.

For the post-effort activity condition, participants performed an exercise to exhaustion and the rest activity condition required participants to simply sit on the cycle ergometer for approximately 20 minutes (corresponding to the mean duration of the exercise in post-effort activity condition of the first 5 participants). Immediately following these activities, participants sat in front of a laptop at approximately 60 cm to perform the spatial attention task. This was completed over 8 experimental blocks (36 trials per block, including 4 catch trials) lasting up to 20 minutes.

Exercise to exhaustion.

The exercise to exhaustion consisted of a maximal incremental effort test. The participants were instructed to maintain a constant cadence between 60-90 rev · min⁻¹. The warm-up started at 25 W and the power output was increased 25 W every 2 minutes and 30 seconds. The test began at 100 W and the power output was increased 15 W every minute. The test ended when participants could not maintain the minimum cadence of 60 rev · min⁻¹ or when they voluntarily stopped exercising. Determination of the AT was based on the Respiratory exchange ratio method (RER) [(RER) = CO₂ production/O₂ consumption]. More specifically, AT was detected when RER exceeded the cut-off value of 1.0 (e.g., Yeh, Gardner, Adams, Yanowitz, & Crapo, 1983; Myers & Ashley, 1997). Notably, the high-fit group took a longer time to exhaustion (Mean = 24 minutes 39 seconds ± 60 seconds) than the low-fit group (Mean = 19 minutes 51 seconds ± 180 seconds) demonstrating the high-fit group's larger physiological adaptation to effort.

Design and statistical analysis.

Physiological data. Similar to Experiment 1, we used two-tailed t-tests (Bonferroni corrected for multiple comparisons) to compare the experimental sessions in terms of the physiological indexes.

Cognitive data. A mixed-design was employed with a between-participant factor of Group (high-fit, low-fit) and within-participant factors of Time on task (1, 2, 3, 4), Activity condition (rest, post-effort), SOA (100, 1000) and Cueing (cued, uncued). In this case, the variable Time on task featured four levels (1 = blocks 1-2; 2 = blocks 3-4; 3 = blocks 5-6; 4 = blocks 7-8) since the task was longer than in Experiment 1. This

allowed us to better assess any change in the magnitude of the attentional effects over time. A mixed-design ANOVA was performed on the RT and accuracy data.

Results

Physiological data analysis.

T-tests (Bonferroni corrected, $\alpha=.016$) showed significant differences in VO_2 between groups (high-fit mean = $44.8 \pm 5.4 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$; low-fit mean = $27.3 \pm 6.2 \text{ ml} \cdot \text{min}^{-1} \cdot \text{kg}^{-1}$), $t(25) = 7.83$, $p < .001$, $d = 3.13$, and relative power output (high-fit mean = $3.5 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \pm 0.5$; low-fit mean = $2.2 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \pm 0.4$), $t(25) = 7.60$, $p < .001$, $d = 3.04$, at AT. T-tests also confirmed that the groups started the two experimental sessions with a similar basal HR (post-effort mean = $72 \pm 14 \text{ bpm}$; rest mean = $68 \pm 15 \text{ bpm}$), $t(25) = 1.75$, $p = .09$ (see Table 3).

Behavioural analyses.

Incorrect responses (9.35 %) and trials with RT below 200 ms or above 1000 ms (1.48 %) were eliminated from subsequent analyses. ANOVA revealed a significant main effect of Time on task, $F(3,75) = 3.75$, $p = .01$, $\eta^2 = 0.13$. Participants were faster in last block (block 4 mean = 514 ms) than in the previous blocks (block 1 mean = 528 ms; block 2 mean = 527 ms; block 3 mean = 524 ms). However, none of the interactions featuring the factor of Time on task reached statistical significance. Therefore, we collapsed all blocks and performed a new ANOVA with the between-participant factor of Group (high-fit vs. low-fit) and the within-participant factors of Activity condition (rest, post-effort) x SOA (100, 1000) x Cueing (cued, uncued)¹. The ANOVA revealed a significant interaction between SOA and Cueing, $F(1,25) = 30.37$, $p < .001$, $\eta^2 = 0.55$. Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.025$) showed the typical facilitation

effect at the 100 ms SOA ($p < .001$, $d = 1.54$) and the IOR effect at the 1000 ms SOA ($p = .002$, $d = 1.13$).

Most interestingly, there was a significant interaction between Group, Activity condition, SOA and Cueing, $F(1,25) = 5.96$, $p = .02$, $\eta^2 = 0.19$ (see Table 4)². Planned comparisons (Bonferroni corrected, $\alpha = 0.012$) revealed that for the high-fit group, there were significant facilitation, $F(1,25) = 27.54$, $p < .001$, $d = 1.56$, and IOR effects, $F(1,25) = 8.20$, $p = .008$, $d = 0.76$, in the post-effort activity condition. However, in the rest activity, the facilitation effect approached significance, $F(1,25) = 4.10$, $p = .05$, while there was no significant IOR effect, $F(1,25) = 1.88$, $p = .18$. In contrast, the low-fit group revealed a non significant facilitation effect, $F(1,25) = 1.65$, $p = .21$, and a marginal IOR effect, $F(1,25) = 4.90$, $p = .04$, $d = 0.59$, in the post-effort activity condition. Finally, in the rest activity condition there was a significant facilitation effect, $F(1,25) = 7.17$, $p = .01$, $d = 1.19$, while the IOR effect was marginally significant, $F(1,25) = 4.50$, $p = .04$, $d = 1.03$.

To investigate the differences between groups at each activity condition we conducted two further ANOVAs including the variables Group, SOA, and Cueing with the data from each Activity condition. ANOVA showed a significant three-way interaction in the post-effort activity condition $F(1,25) = 4.09$, $p = .05$, $\eta^2 = 0.14$, but no such interaction in the rest activity condition, $F < 1$. None of the remaining terms in the ANOVA reached statistical significance. An ANOVA with the factors of Group, Activity condition, SOA, and Cueing on participants' response accuracy did not show any significant term.

Crucially, a simple correlation analysis between the facilitation effect (RT uncued – RT cued at the short SOA) and relative power output in the post-effort condition using participants from both Experiment 1 and 2 ($n = 45$) revealed a

significant positive linear relation between the facilitation effect at the 100 ms SOA in the post-effort condition and the individual relative power output, $r^2 = 0.12$, $p = .01$ (see Figure 1).

Discussion

The main question raised in Experiment 2 was whether participants' physical fitness level would play a role in the relationship between acute exercise to exhaustion and exogenous spatial attention. Participants completed an exogenous spatial task at rest and immediately after an acute bout of exercise to exhaustion. The results showed that in the post-effort activity condition, the typical facilitation (cued RT < uncued RT) and IOR (uncued RT < cued RT) effects were reduced or even disappeared for the low-fit group compared to the high-fit group. Therefore, physical fitness seems to play an important role on the relation between physical exercise and cognitive performance (cf. Chang et al., 2012; Etnier et al., 1997; Lambourne & Tomporowski, 2010; Tomporowski, 2003, for a review), and would explain, at least partially, the pattern of results of Experiment 1.

The overall fitness level of the low-fit group in Experiment 2 ($2.2 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1} \pm 0.4$) was larger than the overall fitness level of the sample in Experiment 1 ($1.96 \text{ W} \cdot \text{kg}^{-1}$). However, we did find significant effects of intense exercise in the low-fit group in Experiment 2. Whether the increased intensity and/or the longer duration of the bout of effort in Experiment 2 (with respect to Experiment 1) might have influenced the observed pattern of results remains an issue for future research. However, we would like to draw the reader's attention to the significant correlation between fitness level and the magnitude of the facilitation effect in the post-effort condition when pooling the data from both experiments. On one hand, this latter result suggests that acute exercise, fitness level, and exogenous spatial attention are not related in an "all-or-nothing"

fashion, but in a linear continuous manner. On the other hand, the results of the high-fit group in Experiment 2 point to the idea that there might be a particular level of fitness that makes people immune to the effects of acute exercise on exogenous spatial attention. Surely, again, that relationship would be modulated by the intensity and duration of the bout of effort. These are interesting issues that merit further investigation.

General Discussion

The results of the two experiments reported in this study revealed that intense aerobic exercise affected the deployment of exogenous spatial attention. Crucially, this effect depended on the physical fitness level of the participants. In particular, we showed that the typical facilitation effect at the short SOA was reduced in low-fit participants when they performed the exogenous spatial attention task immediately after a short bout of intense effort compared to a rest control condition (without prior effort). High-fit participants showed similar attentional effects in both experimental conditions. Interestingly, a significant positive correlation between the index of fitness level (i.e., individual relative power output) and the magnitude of the facilitation effect in the post-effort condition was reported in Experiment 1, and when pooling the data from both experiments.

As mentioned previously, physical exercise requires increased activity of motor and sensory brain regions (Dietrich, 2006) and modulates brain metabolism (e.g., O₂ and glucose; cf. Secher, Seifert, & Van Lieshout, 2008) in comparison to rest. The magnitude of these changes would negatively correlate with individual aerobic fitness level since regular physical activity results in physiological adaptations to effort (cf. Brisswalter et al., 2002). In other words, the larger the fitness level, the lower the magnitude of the changes in brain metabolism and functioning during exercise. Thus, in

our study, immediately after the bout of intense exercise, and due to the limited capacity of the brain (Chang et al., 2012; Dietrich & Audiffren, 2011), participants with the lower aerobic fitness level may have had reduced metabolic resources available to the brain regions involved in exogenous spatial orienting compared to high-fit participants, and, consequently, encounter an increased influence of prior intense exercise on spatial attention (cf. Brisswalter et al., 1997; Chang et al., 2012). In addition, the factor of Time on task did not indicate any significant interactions despite the increasing opportunity to recover from the intense exercise (Bessa et al., 2013). Therefore, it would appear that low-fit participants may not have recovered their metabolic resources enough during the attentional task.

In light of the present results, we argue that due to the reduced metabolic resources after an intense bout of effort in low-fit participants, their brain would be less susceptible to respond to irrelevant stimuli (i.e., the non-informative cue), and primarily focus on the relevant target. This hypothesis is supported by the fact that the acute bout of effort did not result in an overall increase in RT (or errors) in the low-fit participants in the post-effort session with respect to the rest condition in Experiment 2. Moreover, low-fit participants were not significantly slower than the high-fit participants in any of the two Activity conditions in Experiment 2. Therefore, it seems that the variation in the magnitude of the exogenous facilitation effect could not be attributed to a reduced capacity to orient attention to the relevant target stimulus or to a mere RT ceiling effect, which could have reduced the probability of measuring differences between cued and uncued trials. The analysis with corrected mean RT also supports this conclusion.

The interaction between participants' fitness level and performance in the exogenous spatial task was only reported following intense exercise. This result would seem to replicate that of Lum et al. (2002) who did not show any difference in

exogenous spatial attention at rest as a function of sport practice. Unfortunately, Lum et al. did not report an objective measure of the physical fitness level of their participants. In any case, this would also support the hypothesis of selective benefits in cognitive performance at rest (without any influence of prior effort) as a function of fitness level (e.g., Etnier et al., 1997; Etnier et al., 2006; Luque-Casado et al., 2013).

The effects of intense exercise on exogenous attention was larger in the short SOA than in the long SOA, contrary to Sanabria et al. (2011) who showed a significant reduction in the magnitude of the IOR effect. However, a closer look to Sanabria et al. reveals that they also showed a reduction in the magnitude of the facilitation effect during and following aerobic exercise compared to the rest condition (9 ms, 8 ms, and 18 ms, respectively), although that difference did not reach statistical significance (see Sanabria et al.'s Table 1). At present, any argument related to the differential effect of exercise at short or long SOA remains speculative. Further research is needed to clarify this issue.

In sum, the outcome of the present study revealed that the deployment of exogenous spatial attention was affected by intense aerobic exercise and that the magnitude of this effect seems to depend on the physical fitness level of the participants, i.e., the higher the physical fitness level, the lower the effect of exercise on the deployment of exogenous spatial attention. Changes in brain functioning and metabolism during exercise would have resulted in a reduced attentional capture by the irrelevant cue in low-fit participants. Currently, this explanation remains rather speculative since we did not directly measure brain functioning or metabolism. Therefore, further research is needed to directly determine the exact cause(s) of the effects reported here. In any case, the results are novel, open new research venues, and

- 1 add to the extant literature investigating the effects of intense exercise on attentional
- 2 performance.

References

- American College of Sports Medicine. (2005). *ACSM's guidelines for exercise testing and prescription*. 7th. Ed. London: Lippincott Williams & Wilkins.
- Audiffren, M., Tomporowski, P. D., & Zagrodnik, J. (2008). Acute aerobic exercise and information processing: Energizing motor processes during a choice reaction time task. *Acta Psychologica*, 129, 410-419.
- Bessa, A., Oliveira, V. N., De Agostini, G. G., Oliveira, R. J., Oliveira, A. C., White, G., Wells, G., Teixeira, D.N., & Espindola, F. S. (2013). Exercise intensity and recovery: Biomarkers of injury, inflammation and oxidative stress. *Journal of Strength & Conditioning Research*. In press.
- Brisswalter, J., Arcelin, R., Audiffren, M., & Delignières, D. (1997). Influence of physical exercise on simple reaction time: effect of physical fitness. *Perceptual and Motor Skills*, 85, 1019-1027.
- Brisswalter, J., Collardeau, M., & Arcelin, R. (2002). Effects of acute physical exercise characteristics on cognitive performance. *Sports Medicine*, 32(9), 555–566.
- Chang, Y. K., & Etnier, J. L. (2009). Effects of an acute bout of localized resistance exercise on cognitive performance in middle-aged adults: A randomized controlled trial study. *Psychology of Sport and Exercise*, 10, 19-24.
- 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.
- Collardeau, M., Brisswalter, J., & Audiffren, M. (2001). Effects of a prolonged run on simple reaction time of well trained runners. *Perceptual and Motor Skills*, 93, 679-689.

-
- 1 Corbetta, M., & Shulman, G. L. (2002). Control of goal-directed and stimulus-driven
2 attention in the brain. *Nature Reviews Neuroscience*, 3(3), 201–215.
- 3 Craig, N., Walsh, C., Martin, D. T., Woolford, S., Bourdon, P., Stanef, T., Barnes, P., &
4 Savage, B. (2000). Protocols for the physiological assessment of high
5 performance track, road and mountain cyclist. In C. J. Gore (Ed.), *Physiological*
6 *Tests for Elite Athletes* (pp. 258-277). Champaign: Human Kinetics.
- 7 Dietrich, A. (2003). Functional neuroanatomy of altered states of consciousness: The
8 transient hypofrontality hypothesis. *Consciousness and Cognition*, 12, 231–256.
- 9 Dietrich, A. (2006). Transient hypofrontality as a mechanism for the psychological
10 effects of exercise. *Psychiatry Research*, 145, 79-83.
- 11 Dietrich, A., & Audiffren, M. (2011). The reticular-activating hypofrontality (RAH)
12 model of acute exercise. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 35, 1305-
13 1325.
- 14 Etnier, J. L., Nowell, P. M., Landers, D. M., & Sibley, B. A. (2006). A meta-regression
15 to examine the relationship between aerobic fitness and cognitive performance.
16 *Brain Research Review*, 52, 119-130.
- 17 Etnier, J. L., Salazar, W., Landers, D. M., Petruzzello, S. J., Han, M., & Nowell, P.
18 (1997). The influence of physical fitness and exercise upon cognitive
19 functioning: A meta-analysis. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 19,
20 249-277.
- 21 Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart:
22 Exercise effects on brain and cognition. *Nature Review Neurosciences*, 9, 58-65.

- 1 Hillman, C. H., Pontifex, M. B., Raine, L. B., Castelli, D. M., Hall, E. E., & Kramer, A.
2 F. (2009). The effect of acute treadmill walking on cognitive control and
3 academic achievement in preadolescent children. *Neuroscience*, 159, 1044-1054.
- 4 Huertas, F., Zahonero, J., Sanabria, D., & Lupiáñez, J. (2011). Functioning of the
5 Attentional Networks at Rest vs. During Acute Bouts of Aerobic Exercise.
6 *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 33, 649-665.
- 7 Ide, K., Schmalbruch, I. K., Quistorff, B., Horn, A., & Secher, N. H. (2000). Lactate,
8 glucose and O₂ uptake in human brain during recovery from maximal exercise.
9 *Journal of Physiology*, 522, 159-164.
- 10 Labelle, V., Bosquet, L., Mekary, S., & Bherer, L. (2013). Decline in executive control
11 during acute bouts of exercise as a function of exercise intensity and fitness
12 level. *Brain and Cognition*, 81, 10-17.
- 13 Luce, R. D. (1986). Response times: Their role in inferring elementary mental
14 organization. New York: Oxford University Press.
- 15 Lum, J., Enns, J. T., & Pratt, J. (2002). Visual orienting in college athletes: explorations
16 of athlete type and gender. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 73, 156-
17 167.
- 18 Lupiáñez, J. (2010). Inhibition of return. In A. C. Nobre, & J. T. Coull (Eds.), Attention
19 and time. Oxford: Oxford University Press. McMorris, T., Tomporowski, P., &
20 Audiffren, M. (2009). *Exercise and cognitive function*. Michigan: Wiley-
21 Blackwell.
- 22 Lupiáñez, J., Ruz, M., Funes, M. J., & Milliken, B. (2007). The manifestation of
23 attentional capture: facilitation or IOR depending on task demands.
24 *Psychological Research*, 71, 77-91.

- 1 Luque-Casado, A., Zabala, M., Morales, E., Mateo-March, M., & Sanabria, D. (2013).
2 Influence of Physical fitness on the effect of sustained attention, temporal
3 orienting of attention, and temporal discrimination on heart rate variability.
4 *PLOS ONE*. 8(2):e56935.
- 5 Marriott, T., Reilly, T., & Miles, (1993). The effect of physiological stress on cognitive
6 performance in a simulation of soccer. In T. Reilly, J. Clarys, & A. Stibbe
7 (Eds.), *Science and football II* (pp. 261–264). London: E and FN Spon.
- 8 McMorris, T. (2009). Exercise and cognitive function: A neuroendocrinological
9 approach. In T. McMorris, P. D. Tomporowski, & M. Audiffren (Eds.), *Exercise*
10 *and cognitive function* (pp. 41–68). Chichester: Wiley-Blackwell.
- 11 McMorris, T., Tomporowski, P., & Audiffren, M. (2009). *Exercise and cognitive*
12 *function*. Michigan: Wiley-Blackwell.
- 13 Myers, J., & Ashley, E. (1997) Dangerous curves. A perspective on exercise, lactate,
14 and the anaerobic threshold. *Chest*, 111, 787-795.
- 15 Pesce, C., Cereatti, L., Casella, R., Baldari, C., & Capranica, L. (2007a). Preservation of
16 visual attention in older expert orienteers at rest and under physical effort.
17 *Journal of Sport & Exercise Psychology*, 29, 78-99.
- 18 Pesce, C., Tessitore, A., Casella, R., Pirritano, M., & Capranica, L. (2007b). Focusing
19 of visual attention at rest and during physical exercise in soccer players. *Journal*
20 *of Sports Sciences*, 25, 1259-1270.
- 21 Reynolds, J. H., & Chelazzi, L. (2004). Attentional modulation of visual processing.
22 *Annual Review in Neurosciences*, 27, 611–647.

-
- 1 Sanabria, D., Morales, E., Luque, A., Galvez, G., Huertas, F., & Lupiáñez, J. (2011).
2 Effects of aerobic exercise on exogenous spatial attention. *Psychology of Sport*
3 *and Exercise*, 12(5), 570-574.
- 4 Schneider, W., Eschman, A., & Zuccolotto, A. (2002). *E-prime user's guide*. Pittsburg:
5 Psychology Software Tools Inc.
- 6 Secher, N. H., Seifert, T., & Van Lieshout, J. J. (2008). Cerebral blood flow and
7 metabolism during exercise: implications for fatigue. *Journal of Applied*
8 *Physiology*, 104, 306-314.
- 9 Tanaka, H., Monahan, K. D. & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate
10 revisited. *Journal of American College of Cardiology*, 37, 153-156.
- 11 Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta*
12 *Psychologica*, 112, 297-324.
- 13 Wilmore, J. H., & Costill, D. L. (1994). *Physiology of sport and exercise*. Champaign,
14 IL: Human Kinetics.
- 15 Yeh, M.P., Gardner, R.M., Adams, T.D., Yanowitz, F.G., & Crapo, R.O. (1983)
16 "Anaerobic threshold": problems of determination and validation. *Journal of*
17 *Applied Physiology*, 55, 1178-1186.

Footnotes

¹ The analysis was repeated considering the proportional RT as dependent variable, i.e., mean participant RT in each condition divided by mean participant overall RT. This was done to ensure that the null facilitation effect in the post-effort condition in the low-fit group was not caused by an overall slower RT pattern that would have reduced the likelihood of finding a reliable effect. The results replicated those reported in the main text, with a significant interaction between Group, Activity condition, SOA, and Cueing, $F(1,25) = 5.56$, $p = .03$, $\eta^2 = 0.18$. Therefore, for the sake of simplicity, we decided to report uncorrected mean reaction time.

² The results of this same ANOVA including the three untrained participants with high values of VO_2 max and relative power output were similar to those reported in the main text. There was a significant interaction between Group, Activity condition, SOA, and Cueing, $F(1,28) = 6.35$, $p = .02$, $\eta^2 = 0.19$. Moreover, the interaction involving the factors of Group, SOA and Cueing was marginally significant in the post-effort activity condition ($p = .08$), but not so in the rest activity condition ($p = .31$).

Table 1

Anthropometrical and physiological characteristics of selected participants and specific information for each session

		<i>M ± SD</i>	<i>% AT</i>
Anthropometrical characteristics	Weight (Kg)	76,11 ± 8,87	--
	Height (m)	1,77 ± 0,09	--
	HR rest (beat. * min)	76 ± 9,49	52,26 ± 6,28
AT's Parameters	Lactate Acumulation (m mol • L ⁻¹)	3,53 ± 1	100
	Power output (W)	150 ± 34,64	100
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	1,96 ± 0,4	100
	HR (beat. * min)	146 ± 13,63	100
	% HR max.	79 ± 7,2	--
Post-effort	Lactate Acumulation (m mol • L ⁻¹)	4,07 ± 1,38	108,04 ± 23,74
	Power output (W)	128 ± 22	87,91 ± 10,90
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	1,68 ± 0,2	91,3 ± 10,87
	HR (beat. * min)	144 ± 10	73,87 ± 3,88
	% HR max.	57 ± 5,46	--
Rest	Lactate Acumulation (m mol • L ⁻¹)	--	--
	Power output (W)	--	--
	HR (beat. * min)	71 ± 14,89	48,82 ± 9,70
	% HR max.	38 ± 7,99	--
After recovery	Lactate Acumulation (m mol • L ⁻¹)	3,77 ± 1,20	107,77 ± 27,76
	Power output (W)	127 ± 22	87,23 ± 10,42
	Relative power output (W • Kg ⁻¹)	1,67 ± 0,2	90,7 ± 9,2
	HR (beat. * min)	78 ± 9,51	54,01 ± 5,47
	% HR max.	42 ± 5,07	--

Table 2

Mean RT and standard error (ms) and percentage of errors (between parentheses) as a function of Session (post-effort, rest and after recovery), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued)

SOA (ms)	Post-effort		Rest		After recovery	
	100	1000	100	1000	100	1000
Cued	546 ± 21 (6.8)	551 ± 22 (6.7)	543 ± 17 (7.4)	547 ± 19 (7.9)	554 ± 19 (6.9)	556 ± 20 (9.2)
Uncued	554 ± 21 (8)	539 ± 21 (6.1)	554 ± 18 (7.8)	533 ± 17 (6.5)	555 ± 18 (9)	537 ± 17 (6.5)

Table 3

Physiological Characteristics of the Participants Included in this Study.

Variables	Mean ± standard deviation	
	High-fit group	Low-fit group
Sample size	14	13
VO _{2 max.} (ml.min-1.kg ⁻¹)	58.38 ± 2.96	41.28 ± 6.32
VO ₂ at VT (ml.min-1.kg ⁻¹)	44.80 ± 5.44	27.26 ± 6.20
Relative Power max (W • Kg ⁻¹)	4.55 ± 0.42	3.03 ± 0.40
Relative Power at VT (W • Kg ⁻¹)	3.53 ± 0.48	2.20 ± 0.42

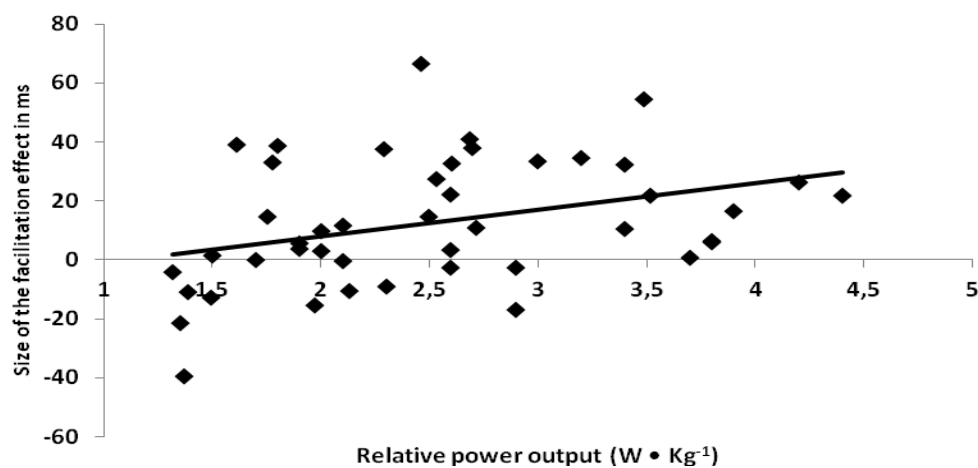
Table 4

Mean RT, Standard Error (ms) and Percentage of Errors (between parentheses) as a Function of Group (high-fit, low-fit), Session (post-effort, rest), SOA (100, 1000), and Cueing (cued, uncued).

SOA (ms)	High-fit group				Low-fit group			
	Post-effort		Rest		Post-effort		Rest	
	100	1000	100	1000	100	1000	100	1000
Cued	521 ± 14 (9)	534 ± 15 (8.8)	530 ± 11 (9)	540 ± 13 (9.1)	514 ± 15 (9.2)	513 ± 16 (9)	511 ± 12 (9.2)	517 ± 14 (9)
Uncued	543 ± 14 (8.8)	522 ± 15 (9)	540 ± 12 (8.9)	532 ± 12 (9.5)	519 ± 15 (9.1)	504 ± 15 (9.2)	525 ± 12 (9.2)	504 ± 13 (9.2)

Figure 1

Correlation between the facilitation effect at the 100 ms SOA in post-effort activity condition in Experiments 1 and 2 and the individual relative power output at AT ($W \cdot Kg^{-1}$)



Annex 2

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

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

NOMBRE DEL EXPERIMENTO: Efecto de la fatiga sobre rendimiento atencional.

Profesor Responsable: Dr. D. Florentino Huertas Olmedo Dr. D. Daniel Sanabria.

Información para los participantes

En el presente experimento se estudia la variación del rendimiento atencional y sus componentes en función de la fatiga en la que se encuentra el participante.

El estudio se llevará a cabo en 4 sesiones de aproximadamente 30-60 minutos de duración c/u.

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

Usted será citado en 4 días en el horario en el que usted haya mostrado su disponibilidad para participar en cada una de las fases del estudio que se describe a continuación:

1ª sesión: Se le realizará el test atencional de 20 minutos de duración como familiarización. El test atencional busca evaluar la capacidad de respuesta de reacción mediante la pulsación de teclas de ordenador en función de unos estímulos que aparecerán en un monitor. Posteriormente se colocará en el cicloergómetro adaptado a su antropometría y se realizará un test en rampa para determinar el umbral anaeróbico, mediante la extracción de una muestra de sangre capilar (una gota o aprox. 5 microlitros) del lóbulo de la oreja al final de cada estadio, utilizando una lanceta desechable. Las muestras de sangre serán analizadas inmediatamente para determinar la concentración de lactato utilizando un analizador Lactate Pro LT-1710 (Arkay Factory, Siga, Japón), mediante tiras reactivas desechables y anotándose los valores obtenidos en una tabla. (Aproximadamente 30').

2ª sesión: Se pasará el test atencional tras la realización de un esfuerzo intenso en cicloergómetro al 100% del umbral anaeróbico, de cinco minutos de duración (duración de la tarea aproximadamente 30').

3ª sesión: Se pasará el test atencional en reposo.

4ª sesión: Se realizará el esfuerzo intenso en cicloergómetro al 100% del umbral anaeróbico, de cinco minutos de duración, se recuperará la Fc de reposo y se realizará la tarea atencional.

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

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

Estos 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. No obstante, es importante que sepan que su participación es voluntaria y en cualquier momento puede abandonar la prueba, informando al experimentador de ello.

Consentimiento

Acepto participar en el estudio denominado "Estudio del rendimiento atencional y su relación con los niveles de esfuerzo" que lleva a cabo el Dr. D. Florentino Huertas y autorizo a que se extraigan cuantas muestras sanguíneas me requieran conforme al protocolo indicado en la parte superior de este documento. 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: _____

Annex 3

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

Facultad de Psicología- Universidad de Granada.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO: Efecto del esfuerzo sobre la orientación exógena.
 Profesores Responsables: Dr. D. Daniel Sanabria Lucena y DR. D. Florentino Huertas Olmedo

Información para los participantes

En el presente experimento se estudia la variación del rendimiento atencional y sus componentes en función del esfuerzo realizado previamente.

El estudio se llevará a cabo en 4 sesiones de aproximadamente 30-60 minutos de duración c/u.

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

Usted será citado en 4 días en el horario en el que usted haya mostrado su disponibilidad para participar en cada una de las fases del estudio que se describe a continuación:

1ª sesión: Se le realizará el test atencional de 15 minutos de duración como familiarización. El test atencional busca evaluar la capacidad de respuesta de reacción mediante la pulsación de teclas de ordenador en función de unos estímulos que aparecerán en un monitor. Posteriormente se colocará en el cicloergómetro adaptado a su antropometría y se realizará un test en rampa para determinar el umbral anaeróbico, mediante analizador de gases. (Aproximadamente 30').

2ª sesión: Se pasará el test atencional tras la realización de un esfuerzo intenso en cicloergómetro al 85% del umbral anaeróbico, de 15 minutos de duración (duración de la tarea aproximadamente 30').

3ª sesión: Se pasará el test atencional en reposo.

4ª sesión: Se pasará el test atencional tras la realización de un esfuerzo intenso en cicloergómetro al 100% del umbral anaeróbico, de 15 minutos de duración (duración de la tarea aproximadamente 30').

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

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

Estos 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

No obstante, es importante que sepan que su participación es voluntaria y en cualquier momento puede abandonar la prueba, informando al experimentador de ello.

Consentimiento

Nombre _____ Firma _____

FECHA: _____

Annex 4

HOJA DE INFORMACIÓN Y CONSENTIMIENTO

Facultad de Ciencias de la Educación y el Deporte- Universidad de Granada.

NOMBRE DEL EXPERIMENTO: Efecto de la condición física individual sobre diferentes procesos atencionales.

Profesores Responsables: Dr. D. Florentino Huertas Olmedo y Dr. D. Daniel Sanabria Lucena.

Investigador: Francesc Llorens

Información para los participantes

En el presente experimento se estudia la variación del rendimiento atencional y sus componentes en función de la condición física de los participantes.

El estudio se llevará a cabo en 2 sesiones de aproximadamente 60 minutos de duración c/u.

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

Usted será citado en 2 días en el horario en el que usted haya mostrado su disponibilidad para participar en cada una de las fases del estudio que se describe a continuación:

1ª sesión: Se le realizará el test atencional de 5 minutos de duración como familiarización. El test atencional busca evaluar la capacidad de respuesta de reacción mediante la pulsación de teclas de ordenador en función de unos estímulos que aparecerán en un monitor. Posteriormente se colocará en el cicloergómetro adaptado a su antropometría y se realizará un test en rampa para determinar el umbral ventilatorio, mediante un analizador de gases que llevarás puesto durante todo el esfuerzo. (Aproximadamente 30') e inmediatamente después realizará otro test atencional (20').

2ª sesión: Se pasará el test atencional en reposo.

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

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

Estos 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

No obstante, es importante que sepan que su participación es voluntaria y en cualquier momento puede abandonar la prueba, informando al experimentador de ello.

Consentimiento

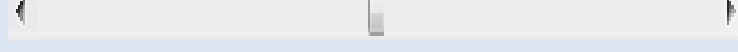
Acepto participar en el estudio denominado "Estudio del rendimiento atencional y su relación con los niveles de esfuerzo" que lleva a cabo Francesc Llorens. He tomado esta decisión basándome en la información que se me ha proporcionado por escrito y he tenido la oportunidad de recibir información adicional que he solicitado. Entiendo que puedo retirar este consentimiento en cualquier momento sin recibir una penalización por ello.

Nombre _____ Firma _____

FECHA: _____

Annex 5

Escala de Monk (Monk, 1989)

SESION 1 PRE	Nada	Muy
Alerta		
Deprimido		
Tenso		
Vigoroso		
Contento		
Cansado		
Calmado		
Dormido		

Annex 6

Motivación y competitividad antes de las diferentes condiciones de actividad.

1. ¿Estás motivado/a para realizar de la manera más eficiente la tarea en base a las instrucciones que has recibido?	Bajo Alto
4. ¿Te gusta ganar siempre cuando participas en alguna competición?	Bajo Alto

Motivación después de las diferentes condiciones de actividad.

¿Cómo de motivado te has encontrado realizando la tarea?	Baja Alta
---	--

Annex 7



LIVERPOOL JOHN MOORES UNIVERSITY CONSENT FORM

Title of Project

Eye movements and distraction following low and moderate intensity cycling

Name of Researcher and School/Faculty

Mr Francesc Llorens, Prof Simon Bennett (School of Sport and Exercise Sciences)

1. I confirm that I have read and understand the information provided for the above study. I have had the opportunity to consider the information, ask questions and have had these answered satisfactorily

☐

2. I understand that my participation is voluntary and that I am free to withdraw at any time, without giving a reason and that this will not affect my legal rights.

☐

3. I understand that any personal information collected during the study will be anonymised and remain confidential

☐

4. I agree to take part in the above study

☐

Name of Participant

Date

Signature

Name of Researcher

Date

Signature

Francesc Llorens

Name of Person taking consent
(if different from researcher)

Date

Signature

Note: When completed 1 copy for participant and 1 copy for researcher



LIVERPOOL JOHN MOORES UNIVERSITY

Title of Project Eye movements and distraction following low and moderate intensity cycling

Name of Researcher and School/Faculty

Mr Francesc Llorens, Prof Simon Bennett (School of Sport and Exercise Sciences)

You are being invited to take part in a research study. Before you decide, it is important that you understand why the research is being done and what it involves. Please take time to read the following information. Ask us if there is anything that is not clear or if you would like more information. Take time to decide if you are willing to participate.

1. What is the purpose of the study?

You are being invited to participate in the study as we are interested in determining whether your understanding of objects shown on a computer monitor differs under low and moderate physiological stress compared to rest.

2. Do I have to take part?

No. It is up to you to decide whether or not to take part. If you volunteer, you will be given this information sheet, a questionnaire with inclusion/exclusion criteria, and asked to sign a consent form. You are still free to withdraw at any time and without giving a reason and this will not affect your rights or access to studies from the university in the future. If you say yes, it is also important to let you know that you can leave the study at anytime – just let the researcher know.

3. What will happen to me if I take part?

If you take part, you will be invited to visit the Sensorimotor Neuroscience laboratory and Physiology laboratory in the Tom Reilly Building at Liverpool John Moores University. The study will take place over three sessions on three separate days, with 1-4 days between each session. The sessions will last approximately 60 minutes.

In the first session, will you perform moderate exercise on a stationary bicycle. Your expired breath and heart rate will be analysed to determine your anaerobic threshold (AT). Then you will complete a short version of the visual search and attention test (~5 minutes duration). In the second session you will cycle at 100% of your AT for 10-15 minutes, after which you will complete the full version of the visual search and attention test (~10 minutes). In the third session you will cycle on a stationary bicycle without resistance for 15 minutes, after which you will again complete the full version of the visual search and attention test.

The visual search attention test task will require you to sit facing a computer monitor, with your chin on a chin-rest. You will observe 8 objects (i.e., circle with different letters inside) shown on the computer monitor, and will be required to judge the direction of one of the letters ('C'). We will measure your eye movements while performing the task and the speed of your judgment (i.e., time to press a key on a computer keyboard).

4. Are there any risks / benefits involved?

If you decide to take part, you will be asked to perform the visual search and attention task after completing a moderate level of physiological stress. A trained experimenter will be present during this time and will be on hand in the event that you feel unwell and wish to terminate the test.

There are no anticipated risks to taking part in this study.

As a volunteer you will not incur any cost.

5. Will my taking part in the study be kept confidential?

Your confidentiality will be maintained in the study.

Contact Details of Researcher

Mr Francesc Llorens
School of Sport and Exercise Sciences, Faculty of Science
Liverpool John Moores University, Tom Reilly Building, Byrom Street, Liverpool, L3 3AF

Contact Details of Academic Supervisor

Prof Simon Bennett
School of Sport and Exercise Sciences, Faculty of Science
Liverpool John Moores University, Tom Reilly Building, Byrom Street, Liverpool, L3 3AF