

UNIVERSIDAD DE
MURCIA

Facultad de
Ciencias del Deporte

Grado en Ciencias de la
Actividad Física y del
Deporte

Trabajo Fin de Grado



Influencia del ritmo circadiano sobre el rendimiento físico en ejercicios aeróbicos y anaeróbicos: una revisión

Ángel Javier Bueno Pérez

Jesús García Pallarés

Trabajo Fin de Grado
Facultad de Ciencias
del Deporte
Grado en Ciencias de
la Actividad Física y
del Deporte
Universidad de Murcia

Título del TFG: Influencia del ritmo circadiano sobre el rendimiento físico en ejercicios aeróbicos y anaeróbicos: una revisión

Nombre del alumno: Ángel Javier Bueno Pérez.

Nombre del tutor: Jesús García Pallarés.

Tipo de TFG: revisión bibliográfica.

Curso 2014-2015. Convocatoria Junio.

Bueno Pérez, A. J. (2015) Influencia de los ritmos circadianos en el rendimiento deportivo en ejercicios aeróbicos y anaeróbicos. Una revisión. Trabajo de Fin de Grado. San Javier: Universidad de Murcia.

RESUMEN

La cronobiología es la ciencia que se encarga del estudio de los cambios fisiológicos dependientes de los ritmos circadianos, estos se refieren a las variaciones internas que se repetirán cada 24 horas. El objetivo del presente estudio fue realizar una revisión sistemática sobre la influencia provocada por la variabilidad circadiana en el rendimiento cardiorrespiratorio y motor tanto aeróbico como anaeróbico. Los resultados de esta revisión indican que el rendimiento deportivo se ve afectado por la hora del día en condiciones normales, así como la existencia de diversos mecanismos y sustancias exógenas que pueden disminuir las diferencias en el rendimiento que genera esta variabilidad biológica. Las investigaciones se muestran unánimes en afirmar una mejora del rendimiento tanto cardiorrespiratorio (frecuencia cardiaca, volumen de oxígeno máximo, concentración de lactato, etc.) como neuromuscular (potencia máxima, potencia media, velocidad máxima, etc.) de la actividad física llevada a cabo en horario vespertino en comparación con el matutino. Además, sostenemos que la duración e intensidad del calentamiento pre-actividad puede resultar decisivo para equiparar el rendimiento deportivo en distintos momentos del día. Por otra parte, la utilización de sustancias ergogénicas como la cafeína también pueden actuar como mecanismos que igualen el rendimiento en horario de mañana con respecto al de tarde.

Palabras clave: ritmos circadianos, rendimiento cardiorrespiratorio, temperatura corporal y deporte.

Bueno Pérez, A. J. (2015). Influence of circadian rhythm on physical performance in aerobic and anaerobic exercises: a review. Trabajo de Fin de Grado. San Javier: Universidad de Murcia.

ABSTRACT

Chronobiology is the science that deals with the study of physiological changes dependent on circadian rhythms, these refer to the internal changes that will be repeated every 24 hours. The aim of this study was to conduct a systematic review of the impact caused by the circadian variability in cardiorespiratory performance and move both in aerobic and anaerobic. The results of this review suggest that athletic performance is affected by the time of day under normal conditions, and the existence of various mechanisms and exogenous substances that can decrease performance differences generated by this biological variability. Investigations are unanimous in affirming both improved cardiorespiratory (heart rate, maximum volume of oxygen, lactate, etc.) and neuromuscular (maximum power, mean power, maximum speed, etc.) of physical activity carried out during evening hours compared with morning hours. In addition, we support that the duration and intensity pre-heating activity can be critical to equate athletic performance at different times of the day. Moreover, the use of ergogenic substances such as caffeine may also act as mechanisms that equal performance in the morning compared to the afternoon.

Key Words: circadian rhythms, cardio respiratory performance, body temperature and sport

Agradecimientos

Al profesor Jesús García Pallarés por haberme guiado en todo momento en la realización de este trabajo fin de grado, así como por su implicación y por poner todos sus conocimientos a mi disposición.

A mis padres Javier y M^o Isabel, mi hermana y a mi novia María por brindarme siempre todo su apoyo y colaborar en todo lo que me propongo llevar a cabo.

A mi perro Carmelo que tantas horas ha compartido junto a mí durante la realización de este trabajo.

A mis compañeros de TFG por su colaboración y predisposición a ayudarme en lo que les he necesitado.

Índice

	Pág.
1. Introducción.....	1
2. Método.....	4
3. Resultados.....	5
4. Discusión.....	16
5. Referencias bibliográficas.....	19

INTRODUCCIÓN

Está fuera de toda duda que obtener los mejores resultados posibles es el principal objetivo cuando se lleva a cabo actividad física en el ámbito de la alta competición. En este contexto, se suelen calificar como éxito o fracaso los resultados dependiendo de si el rendimiento obtenido ha sido o no el esperado. Por consiguiente, cada vez más se han venido aplicando los avances científicos en el campo de la fisiología del ejercicio con el fin de optimizar el rendimiento de los deportistas (Cappaert et al., 1999).

Los ritmos biológicos pueden definirse como una característica endógena de distintas especies que presentan diferentes periodos en su oscilación que les permitirá adaptarse a un medio cíclico y continuar evolucionando (Javierre, 1994). El sistema circadiano se encuentra formado por las siguientes estructuras: 1) un reloj biológico que en los mamíferos se sitúa en el núcleo supraquiasmático del hipotálamo (NSQ); 2) las vías de sincronización, encargadas de proporcionar al reloj la información de las señales externas, principalmente el tracto retino-hipotalámico que transmite la información luminosa de la retina hacia el NSQ para mantener una congruencia entre el reloj y el medio ambiente y finalmente 3) las vías eferentes que transmiten las señales a los sistemas efectores que expresan los diferentes ritmos fisiológicos y conductuales. Estos son regidos por unos relojes biológicos internos que son sincronizados habitualmente por elementos medioambientales, el sincronizador más importante es el ciclo luz-oscuridad (Ángeles-Castellanos, Rodríguez, Salgado y Escobar 2007).

Antes de centrar la atención sobre la influencia de este fenómeno sobre el rendimiento físico, consideramos que es importante hacer mención a los diversos parámetros que definen los distintos ritmos biológicos: el mesor, la amplitud, la acrofase y el periodo (Javierre, 1994). El mesor se podría definir como valor medio alrededor del cual varían los valores de una variable en un ciclo; la amplitud es la diferencia entre el mesor y el valor máximo o mínimo de una variable en un ciclo que puede ir cambiando con los años y con las enfermedades intercurrentes en cada individuo; la acrofase se refiere al momento del ciclo de amplitud máxima en el que la variable tiene su valor máximo; mientras que la batifase es el momento del ciclo en el que la variable tiene su valor mínimo; y por último el periodo es el intervalo de tiempo necesario para que una variable describa un ciclo completo, es el intervalo de tiempo entre dos fases iguales.

Casi todos los procesos fisiológicos y bioquímicos en el cuerpo humano siguen un ciclo periódico. La temperatura corporal, por ejemplo, sigue un ritmo circadiano y esta puede influir en el rendimiento deportivo (Drust, Waterhouse, Atkinson, Edwards y Reilly, 2005). La temperatura corporal aumenta durante el día y disminuye por la noche, cae a un mínimo durante la fase de sueño, en torno a las 4:00 horas y comienza a subir. Este aumento generalmente continúa hasta obtener su pico máximo en torno a las 18:00 horas y la amplitud de la temperatura corporal es de 0,4° a 0,5° en adultos jóvenes (Atkinson y Reilly, 1996). En relación al efecto de la variación circadiana de la temperatura sobre el rendimiento deportivo, se ha observado que el rendimiento máximo se produce en la tarde, aproximadamente en el pico de la temperatura corporal, y el peor desempeño se ha encontrado en la mañana (Kline et al., 2007).

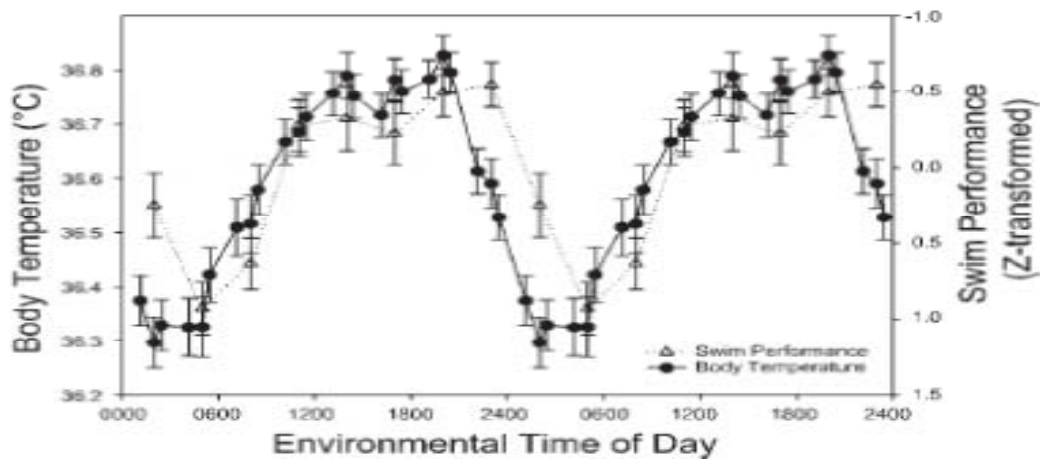


Figura 1. Efectos del ritmo circadiano sobre la temperatura interna y el rendimiento deportivo. Tomado de Kline et al., (2007).

Dentro del parámetro fisiológico de la temperatura corporal, algunos autores han tenido como propósito de sus estudios ver la influencia que puede tener el realizar un calentamiento más duradero y extenso a primeras horas del día para contrarrestar los efectos provocados por las fluctuaciones circadianas con respecto a horas más tardías (Atkinson, et al., 2005). Así, en el estudio llevado a cabo por Taylor, et al., (2011) encontraron que no existen diferencias de rendimiento entre la actividad realizada a primeras horas de la mañana, tras un calentamiento más extenso (15 minutos en cicloergómetro a 150-200W), con respecto a la actividad física llevada a cabo durante la tarde con un calentamiento más liviano (5 minutos que incluía trote suave, sentadillas y 10 metros de sprint al 75% de la velocidad máxima).

Otro de los aspectos fisiológicos que afectan al rendimiento deportivo y que ha sido objeto de numerosas investigaciones, ha sido la influencia de los ritmos circadianos en la variación diurna de la frecuencia cardíaca. Así, Atkinson y Reilly (1996) establecen que la frecuencia cardíaca varía con una amplitud del 5 al 15% del valor medio en un ciclo de 24 horas y con una acrofase alrededor 15:00 horas. Características de biorritmo similares son encontradas en el volumen sistólico, el gasto cardíaco, el flujo de sangre y la presión arterial (Atkinson y Reilly, 1996).

Otro aspecto que hemos considerado de interés, ha sido observar en los diferentes estudios como la influencia de los ritmos circadianos puede influir en la capacidad de trabajo, así como en la percepción de esfuerzo de los atletas. En cuanto a la capacidad de trabajo, las investigaciones nos muestran que siguen un patrón circadiano y que suele ser más elevada por la tarde con respecto a la mañana (Falgairette, 2006). En la investigación llevada a cabo por Deschodt y Arsac (2004) los autores usaron 11 sujetos para llevar a cabo su investigación, todos ellos realizaron las pruebas consistentes en un test de potencia máxima en cicloergómetro (30 g · kg carga de fricción y 60 g · kg carga de fricción), así como una prueba de 50 metros de velocidad en natación estilo libre. Los resultados observados demostraron que la capacidad de trabajo se incrementó en 4,8% de media en 30 g/ kg de carga de fricción y 1,8% en 60 g/ kg de carga de fricción. En referencia al esfuerzo percibido, la mayoría de estudios revisados muestran que no existen diferencias estadísticamente significativas en el ejercicio realizado por la mañana en comparación con el llevado a cabo en la tarde (Morris et al., 2009).

Estudiar el incremento de la concentración de lactato que se produce en determinadas pruebas que llevan a cabo muchos atletas, es considerado de especial interés para muchos investigadores y entrenadores, debido a su influencia en el rendimiento de los deportistas, sobre todo en la manera que esta puede influir sobre la fatiga muscular en pruebas exigentes (Racinais et al., 2005). Souissi et al. (2003) mostraron que, si bien la concentración de lactato suele ser ligeramente superior por la tarde respecto a la mañana para una misma prueba y sujeto, estas diferencias no son significativas, lo cual viene a confirmar que no se considera un factor relevante de cara al rendimiento del deportista el momento del día en que se lleve a cabo la prueba.

Mencionados algunos de los aspectos fisiológicos que pueden verse afectados por la influencia de los ritmos biológicos del organismo, a continuación pasaremos a valorar los

aspectos que podríamos definir como neuromusculares, debido a su transferencia en el rendimiento posterior de los atletas en las diferentes pruebas de corta o muy corta duración (Potencia máxima, altura de salto vertical, velocidad máxima, etc.). Según la literatura revisada, la inmensa mayoría de autores establecen que debido a la mejora en el rendimiento en las distintas pruebas en los aspectos mencionados anteriormente, parece que el rendimiento se optimiza en el horario de tarde con respecto al de mañana (Pallarés et al., 2014; Racinais, et al., 2004; Taylor., et al, 2011). En una investigación realizada por Chtourou et al., (2011) sometieron a 22 varones altamente activos a un test wingate (30 s con resistencia de $0.087 \text{ kg} \cdot \text{kg}^{-1}$ masa corporal) en dos momentos diferentes del día (7:00 h y 17:00 h). Los resultados afirman una mejora en la potencia máxima de 2,6%, así como un 2,0% en la potencia media del horario de la tarde con respecto al de la mañana. Por otro lado, nuestro estudio también hace hincapié en valorar la influencia que puede tener la ingestión de determinadas sustancias ergogénicas (cafeína, pseudoefedrina, etc.) en determinados momentos del día con el objetivo de equiparar los resultados de las pruebas que se llevan a cabo durante la mañana con respecto a la tarde y paliar los efectos producidos por la variación circadiana (Mora-rodríguez et al., 2014; Pallarés et al., 2015).

El objetivo del presente estudio de revisión sistemática es valorar las evidencias científicas sobre los distintos factores que pueden verse afectados por el biorritmo humano y su transferencia en el rendimiento de los deportistas en las distintas pruebas de resistencia aeróbica y anaeróbica.

MÉTODO

Para la búsqueda bibliográfica se utilizaron las bases de datos SciELO, web of Science, Index, Pubmed, MEDLINE, Scopus, SportDiscus, Redalyc, Dialnet y Google Scholar. El gestor bibliográfico utilizado para la recopilación de todos los artículos usados en este trabajo ha sido EndNote. La búsqueda fue llevada a cabo desde el día 21 de enero de 2015 hasta el 27 de marzo de este mismo año para artículos publicados de investigaciones científicas originales. Para obtener la literatura disponible, en los términos de búsqueda se incluyeron varias combinaciones de palabras clave: ritmos circadianos, deporte, resistencia aeróbica y anaeróbica, frecuencia cardiaca, umbral de lactato, temperatura corporal, rendimiento, fatiga muscular, ejercicio físico y entrenamiento. Los criterios de inclusión

establecidos fueron los siguientes: (1) revisión en inglés solo para revistas incluidas en el Journal Citation Report; (2) se excluyeron las actas de congresos; y (3) estudios referidos exclusivamente al efecto provocado por la variación diurna de los ritmos circadianos sobre el rendimiento de los deportistas en la realización de pruebas de resistencia aeróbica y anaeróbica (i.e., esfuerzos superiores a 30 s). Tales combinaciones de palabras clave y criterios de inclusión dieron como resultado la selección de 32 artículos originales de investigación que abordaron este objetivo de investigación experimental.

Entendiendo que el nivel competitivo o experiencia en la práctica de actividad física de los participantes pueden afectar de forma relevante a los efectos del biorritmo sobre el rendimiento motor (Kile et al., 2007; Pallarés et al., 2014), para esta revisión sistemática se ha clasificado y estandarizado el nivel de rendimiento de los participantes según cuatro niveles de práctica de actividad física: i) sedentarios, ii) moderadamente activos, iii) altamente activos, iv) atletas de alto rendimiento Esta estandarización nos permitirá interpretar los resultados y los efectos sobre las diferentes variables dependientes de estas investigaciones en su propio contexto.

Tabla 1. Clasificación de los sujetos en función de su nivel de condición física.

Grupo	Nivel de condición física	Nº de estudios incluidos
1	Sedentarios	0
2	Moderadamente activos	2
3	Altamente activos	14
4	Atletas alto rendimiento	3

- Grupo 1: sujetos que realizan < 1 hora de actividad física de intensidad moderada por semana.
- Grupo 2: sujetos que realizan entre 1-3 horas de actividad física de intensidad moderada por semana.
- Grupo 3: sujetos que realizan entre 3-6 horas de actividad física de intensidad moderada a vigorosa por semana. Pueden participar en eventos competitivos esporádicamente.
- Grupo 4: sujetos que realizan > de 6 horas de actividad física de intensidad moderada a vigorosa por semana y participan de forma regular en eventos competitivos.

RESULTADOS

La Tabla 1 muestra los resultados del análisis sistemático que se ha llevado a cabo en las 29 publicaciones que cumplieron los criterios de inclusión.

Tabla 2. Efectos de los ritmos circadianos en el rendimiento aeróbico y anaeróbico.

Estudio	Sujetos	Diseño del estudio	Protocolo	Hallazgos	Mejoras (%; p value*; tamaño de efecto (ES))
Atkinson et al., 2005	- Grupo nº 3 - 8 varones 24,9 ± 3,5 años	- Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - 2 tipos de calentamiento: “frio”: 5 min en cicloergómetro “caliente”: 25 min en cicloergómetro al 60% de Ppico - Horario de pruebas: 7:30 AM 5:30 PM	- Prueba: contrarreloj 16,1 km.	a) Mejora de tiempo de rendimiento total en “frio” de PM respecto AM b) Mejora de tiempo de rendimiento total en “caliente” de PM respecto AM c) Mejora de Pmedia en “frio” de PM respecto a AM d) Mejora de Pmedia en “caliente” de PM respecto a AM e) Incremento de FCmedia en “frio” de PM respecto AM f) Incremento de FCmedia en “caliente” de PM respecto AM g) Incremento de [lact] en “frio” de PM respecto AM	a) 4,8%; P=0.0002; ES: - 0,55 b) 3,1%; P=0.0002; ES: -0,45 c) 11%; P=0.003; ES: 0,52 d) 9%; P=0.003;; ES: 0,52 e) 4,3%; P=0.3; ES: 0,56 f) 0,5%; P=0.3; ES:0,09 g) 40%; P=0.02; ES: 2,26

				h) Incremento de [lact] en “caliente” de PM respecto AM	h) 5%; P=0.02; ES:0,28
Carandente et al., 2006	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 4 (entrenados en resistencia) - 20 varones 22,5 ± 2,5 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba 9:00-11:00 AM 11:00-1:00 AM 4:00-6:00 PM 6:00-8:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - 2 horas de entrenamiento aeróbico 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de FC media de 11:00-13:00AM respecto a 9:00-11:00 AM b) Incremento de FC media de 18:00-20:00PM respecto a 9:00-11:00 AM 	<ul style="list-style-type: none"> a) 6%; P <0.001; ES: 1,7 b) 3%; P <0.01; ES: 1,0
Chtourou et al., 2011	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 - 22 varones 23,2 ± 1,9 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de pruebas: 7:00 AM 5:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - Test wingate (30 seg. con resistencia de 0.087 kg · kg-1 masa corporal) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de la T° corporal durante wingate de PM respecto AM b) Incremento de Ppico de PM respecto AM c) Incremento Pmedia de PM respecto AM d) Incremento de fatiga muscular de PM respecto a AM 	<ul style="list-style-type: none"> a) 1,6%; p <0,001; ES: 3 b) 2,6%; P <0,05; ES: 0,33 c) 2%; P <0,05; ES: 0,33 d) 4,9%; P <0,05; ES: 0,2

Deschodt et al., 2004	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 4 (natación) - 11 sujetos, 6 mujeres y 5 varones 24,9 ± 3,2 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba: 8:00 AM 1:00 PM 6:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - Test de potencia máxima en ergómetro: <ul style="list-style-type: none"> • 30 g/kg carga de fricción • 60 g / kg carga de fricción 	<ul style="list-style-type: none"> a) incremento de Ppico de PM respecto AM en ergómetro 	<ul style="list-style-type: none"> a) 8,5%; P< 0,05; ES: 0,18
			<ul style="list-style-type: none"> - 50 metros de velocidad en natación estilo libre 	<ul style="list-style-type: none"> b) Incremento de trabajo total realizado en 30 g · kg de PM respecto AM c) Incremento de trabajo total realizado en 60 g · kg de PM respecto AM d) Incremento de la velocidad de nado de PM respecto AM 	<ul style="list-style-type: none"> b) 4,3%; P< 0,05; ES: 0,21 c) 1,8%; P< 0,05; ES: 0,17 d) 3,7%; P<0.01; ES: 0,4
Falgairrette et al., 2006	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 - 12 varones 23 ± 2 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba: 8:00 AM 5:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - Test diez consecutivos sprints máximos de 6 seg separados por 30 seg de períodos de descanso 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de Ppico de PM respecto AM en 1º sprint 	<ul style="list-style-type: none"> a) 0,4%; P< 0,05; ES: 0,03
				<ul style="list-style-type: none"> b) Incremento de Ppico de PM respecto AM en 10º sprint 	<ul style="list-style-type: none"> b) 2%; P< 0,05; ES: 0,2
				<ul style="list-style-type: none"> c) Incremento de trabajo total realizado de PM respecto AM en 1º sprint 	<ul style="list-style-type: none"> c) 2,8%; P< 0,05; ES: 0,12
				<ul style="list-style-type: none"> d) Incremento de trabajo total realizado de PM respecto AM 	<ul style="list-style-type: none"> d) 2,3%; P< 0,05; ES: 0,10

en 10° sprint

Gür et al., 2002	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 2 - 7 varones 26,3 ± 3,0 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba: 9:00 AM 2:00 PM 7:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - Test incremental máximo (TIM) en ergómetro (inicial 30W, aumentando 30W cada 2 min) 	a) Diferencias en la FC media entre AM y PM	a) SN
				b) Diferencias en el VO2 medio entre AM y PM	b) SN
Hobson et al., 2009	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 - 9 varones 24 ± 2 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba: 6:45 AM 6:45 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - Test incremental máximo (TIM) hasta el agotamiento en ergómetro en ambiente cálido 	a) Incremento del tiempo hasta el agotamiento de AM respecto a PM	a) 13,7%; P = 0,009; ES: -0,53
				b) Incremento de la T° en reposo de PM respecto a AM	b) 1,3%; P <0,001; ES: 5
				c) Incremento de la FC reposo de PM respecto a AM	c) 10%; P = 0,18; ES: 0,52
				d) Incremento de VO2 tras 15 min de test de AM respecto a PM	d) 8%; P = 0,412; ES: -0,36

Kin-Isler et al., 2006	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 - 14 varones 22,6 ± 2,6 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. Horario de prueba: 9:00 AM 1:00 PM 5:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - Test Wingate (30 seg. Con resistencia de 7,5% del peso corporal) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de T° oral de PM respecto AM b) Incremento de Ppico de PM (17:00) respecto a AM (9:00) c) Incremento de Pico de PM (13:00) respecto a AM (9:00) d) Diferencias en [lact] AM y PM 	<ul style="list-style-type: none"> a) 1,7%; p = 0,000; ES: 2 b) 2,8%; p = 0,028; ES: 0,3 c) 4,7%; P= 0,048; ES: 0,47 d) p> 0,05 (SN)
Kline et al., 2007	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 25 sujetos, 13 mujeres y 12 varones 20.7 ± 0.6 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. Horario de prueba: 8:00 AM 8:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - 200 metros de natación al máximo 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de tiempo de total de PM respecto AM 	<ul style="list-style-type: none"> a) 3,4%
Morris et al., 2009	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 - 7 varones 27,4 ± 5.1 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. 	<ul style="list-style-type: none"> - 30 min en ergómetro al 70% del VO2 max 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de T° central de PM respecto a AM b) Incremento de FC durante el ejercicio de PM respecto a 	<ul style="list-style-type: none"> a) 0,9%; p=0,003; ES: 0,71 b) 0,95%; p=0,766; ES:

		- Horario de prueba: 8:00 AM 5:00 PM		AM	0,03
				c) Diferencia de Esfuerzo percibido de PM y AM	c) SN
Moussay et al., 2002	- Grupo nº 4 (ciclismo) - 10 varones 22,2 ± 2,4 años	- Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba: 6:00 AM 6:00 AM	- Test submáximo en ergómetro durante 15 min al 50% de Ppico	a) Incremento de la T° corporal reposo de PM respecto a AM b) Incremento de FCmedia durante test de PM respecto AM	a) 1,6%; p = 0,031; ES: 6 b) 2,2%; p=0,16; ES: 0,61
Racinais et al., 2004	- Grupo nº 3 - 23 sujetos, 8 mujeres y 15 varones 22,5 ± 1,2 años	- Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Condiciones y horario de las pruebas: • Clima tropical (cálido) • 8:00 AM • 1:00 PM	- Test salto vertical - Test fuerza-velocidad	a) Incremento de T° rectal de 5:00 PM respecto a 8:00 AM b) Incremento en Potencia de salto de 1:00 PM respecto a 8:00 AM c) Incremento en Potencia de salto de 5:00 PM respecto a 8:00 AM d) Incremento en Potencia de test F-V de 5:00 PM respecto	a) 0,8%; P< 0.005; ES: 1 b) 1,8%; P= SN; ES: 1,75 c) 0,4 %; P= SN; ES: 0,02 d) 1,9%; P= SN; ES: 0,07

		•5:00 PM		a 8:00 AM	
Racinais et al., 2005	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 - 8 varones 27 ± 8 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - 2 tipos de calentamiento: <ul style="list-style-type: none"> • Activo (AWU). 12 min de pedaleo a 50% VO_{2max} • Control (CC). 3 min de pedaleo a 50% VO_{2max}) - Horario de prueba: 7:00 AM 5:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - Prueba de velocidad en ergómetro 7 seg. 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de T° central en reposo de PM respecto AM b) Incremento de Ppico de PM respecto AM c) Incremento de Ppico de (AWU) respecto (CC) d) Incremento de Vpico de PM respecto AM e) Incremento de Vpico de (AWU) respecto (CC) 	<ul style="list-style-type: none"> a) 1,3%; P <0,01; ES: 2,5 b) 4,5%; p <0,05 c) 3,7%; p <0,05 d) NS e) 3,1 %; p <0,05
Reilly et al., 1983	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 2. - 8 mujeres 19,5 ± 1,5 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba: 	<ul style="list-style-type: none"> - Test incremental máximo (TIM) en ergómetro 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento del tiempo hasta el agotamiento de PM respecto AM b) Incremento del trabajo total realizado de PM respecto AM 	<ul style="list-style-type: none"> a) 68%; p = 0,05; ES: 0,60 b) 41%; p = 0,05; ES: 0,74

6:30 AM
10:00 PM

Souissi et al., 2003	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3. - 13 varones 22,4 ± 2,4 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Condiciones de la prueba: <ul style="list-style-type: none"> • sujetos sin dormir en 36 horas (SDN) • sujetos habiendo dormido (RN) - Horario de pruebas: 6:00 AM 6:00 PM 	<ul style="list-style-type: none"> - prueba F-V propuesto por Vandewalle et al. (1987). - Test wingate 	<p><u>Wingate</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de Ppico de PM respecto AM tanto RN (habiendo dormido) como SDN(sin dormir) <ul style="list-style-type: none"> a) RN: 9,3%; P <0,001; ES: 1,2 a) SDN: 3,9%; P=0,04; ES: 0,53 b) Incremento de Pmedia de PM respecto AM tanto RN (habiendo dormido) como SDN(sin dormir) <ul style="list-style-type: none"> b) RN: 7,7%; P <0,001; ES: 1 b) SDN: 4,5%; P = 0,004; ES: 0,5 	
					<p><u>Pueba F-V</u></p>	<ul style="list-style-type: none"> c) Incremento de Ppico de PM respecto AM tanto RN (habiendo dormido) como SDN(sin dormir) <ul style="list-style-type: none"> c) RN: 8,3%; P <0,001; c) SDN: 3,7%; P <0,001 d) [lact] <ul style="list-style-type: none"> d) SN
Souissi et al., 2007	<ul style="list-style-type: none"> - Grupo nº 3 - 11 varones 21,8± 2,4 años 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de pruebas: 	<ul style="list-style-type: none"> - Test Wingate (30 seg. Con resistencia de 0.087 kg. kg de masa corporal) 	<ul style="list-style-type: none"> a) Incremento de temperatura corporal de PM respecto AM b) Incremento de Ppico de PM respecto AM c) Incremento Pmedia de PM respecto AM 	<ul style="list-style-type: none"> a) 2,1%; P <0,001; ES: 1,7 b) 8,4%; P <0,001; ES: 1,05 c) 8,9%; P <0,001; ES: 1,45 	

		6:00 AM 6:00 PM		d) Incremento de trabajo total realizado de PM respecto AM	d) 8,3%; P <0,001; ES: 0,57
				e) Diferencias [lact] de PM respecto AM	e) SN
Souissi et al., 2010	- Grupo nº 3. - 12 varones 23,5 ± 3,1 años	- Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - 2 tipos de calentamiento: • (A) Activo 5 min al 50% de la potencia de salida • (B) Activo 15 min al 50% de la potencia de salida - Horario de prueba: 8:00 AM 6:00 PM	- Test wingate	a) Incremento de Ppico en AM con (B) respecto a (A) b) Incremento de Ppico de PM respecto AM con (A) y (B) c) Incremento Pmedia de PM respecto a AM con (A) y (B)	a) p <0,05 b) (A): 6,83%; p <0,001 (B): 3,65%; p <0,01 c) (A): 4,06%; p <0,001 (B): 1,59%; p <0,05
Torii et al; 1995	- Grupo nº 3 - 5 varones 21,6 ± 0,7	- Estudio Transversal, experimental con	- Prueba en ergómetro durante 40	a) Aumento de tasa de sudoración total (TSR) al 30% de VO2 max	a) 40%; P< 0.05; ES:6,35

	años	grupo control, aleatorizados, cruzado.	min a:	de PM respecto a AM	
		- Horario de prueba: 9:00 AM 8:00 PM	- 30% VO2max - 60% VO2max	b) Aumento de tasa de sudoración total (TSR) al 60% de VO2 max de PM respecto a AM	b) 11,3%; p< 0.01; ES:2,2
Waterhouse et al., 2004	- Grupo nº 3 - 8 sujetos, 4 mujeres y 4 varones 21,5 ± 4 años	- Estudio Transversal, experimental con grupo control, aleatorizados, cruzado. - Horario de prueba: 5:00 AM 11:00 AM 5:00 PM 11:00 PM	- Prueba en ergómetro a 90W	a) Prueba Diferencias de FC media entre PM y AM b) Incremento de T° corporal durante prueba de PM respecto AM	a) SN b) 1,3%; P=0,022; ES: 2,08

DISCUSION

La presente revisión bibliográfica tuvo como objetivo valorar la influencia de la variabilidad circadiana en el rendimiento cardiorrespiratorio tanto en el ejercicio físico aeróbico como anaeróbico. En este contexto, tomaremos como referencia el rango horario de 7:00 h a 9:00 h para referirnos a las pruebas llevadas a cabo por la mañana (AM) y el rango de 17:00 h a 19:00 h para referirnos a las llevadas a cabo por la tarde (PM). Estos rangos han sido demostrados como momentos apropiados del día para el estudio de las variaciones circadianas (Deschodt et al., 2004). Podemos destacar dos hallazgos principales de esta revisión: a) tanto el rendimiento aeróbico como el anaeróbico en pruebas deportivas se maximiza en horarios vespertinos respecto a los matutinos con unos porcentajes de cambios y tamaños del efecto que fluctúan entre 2-9% y 0,3-4 respectivamente; b) la extensión y en especial el aumento de intensidad del calentamiento realizado antes de las pruebas pueden contrarrestar la incidencia de los ritmos circadianos sobre el rendimiento deportivo.

Numerosos estudios han descrito hallazgos que demuestran un rendimiento físico aumentado cuando se realiza en la jornada vespertina y primeras horas de la noche (Hobson et al., 2009; Morris et al., 2009; Souissi et al., 2010). En la presente revisión comenzaremos valorando los distintos aspectos fisiológicos que pueden verse afectados por las fluctuaciones circadianas. En cuanto a la temperatura corporal los resultados muestran un aumento de la temperatura de hasta un 2% en la tarde, según diferentes autores este aumento de la temperatura corporal tiene un valor muy significativo en la mejora del rendimiento de los deportistas cuando su temperatura corporal es más elevada (Chtourou et al., 2011; Hobson et al., 2009; Kin-Isler 2006). En este apartado de la temperatura interna, y debido a la relación existente entre esta y la sudoración durante el ejercicio, hemos considerado interesante hacer referencia al estudio realizado por Torii et al; (1995) que muestra un aumento en la tasa de sudoración del 40% en la tarde con respecto a la mañana en una prueba consistente en 40 minutos sobre el cicloergómetro a 30W, así como un aumento del 11% en la misma prueba realizada a 60%. Estos datos demuestran que la tasa de sudoración aumenta considerablemente conforme la temperatura corporal es más elevada (Morris et al., 2009). Otro de los aspectos anatómicos presente en los deportistas que se ve influenciado por la variación circadiana es el rendimiento cardiorrespiratorio. En este aspecto los diferentes estudios han confirmado un aumento de la frecuencia cardiaca media con un rango del 2-6% en las pruebas realizadas por la mañana con respecto a las realizadas por la tarde (Carandente

et al., 2006; Moussay et al., 2002). Dentro del rendimiento cardiorrespiratorio también se muestra claro un aumento del volumen de oxígeno durante la ejecución de pruebas realizadas por la tarde de hasta un 8%, lo que supone un indicador muy significativo de mejora de rendimiento en estas horas del día con respecto a las más tempranas (Hobson et al., 2009).

Otro de los datos que consideramos de especial interés para los entrenadores de cara al mejor rendimiento de sus deportistas ha sido el índice de trabajo total realizado en las pruebas llevadas a cabo en diversas investigaciones presentes en esta revisión. Así, estos autores establecen que el trabajo total realizado aumenta en las pruebas que son llevadas a cabo durante la tarde con porcentajes de entre 2-8% (Deschodt y Arsac, 2004; Falgairette et al., 2006; Souissi et al., 2007). Estos resultados son concluyentes y no tienen en cuenta la influencia de aspectos tales como las preferencias de los deportistas en cuanto a entrenar en horas más tempranas o en horas más tardías. Por otra parte, al hacer mención a la característica del esfuerzo percibido, los autores se muestran coincidentes en que no existen diferencias estadísticamente significativas en este parámetro entre las pruebas llevadas a cabo en horas más tempranas con respecto a horas más tardías (Morris et al., 2009). Lo que puede llevarnos a la conclusión de que la percepción subjetiva del esfuerzo no responde de manera relevante a la variación circadiana.

En la presente revisión, los autores se muestran concluyentes en una mejora de la potencia máxima y potencia media en las diferentes pruebas realizadas (Souissi et al., 2010; Tylor et al., 2011). Así diversas investigaciones que utilizaron la prueba del test wingate para conocer los efectos del ritmo circadiano registraron un rango de mejora de la potencia máxima y potencia media en las pruebas llevadas a cabo por la tarde de entre un 2,5-8,6% y de un 2-9% respectivamente (Souissi et al., 2007; Kin-Isler, 2006; Chtourou et al., 2011). Además, se ha constatado un incremento de la velocidad máxima por parte de los sujetos que llevaron a cabo las diferentes pruebas de un 3% a 4% (Deschodt et al., 2004). Estos resultados muestran la considerable repercusión que podrían tener los diferentes momentos del día a la hora de llevar a cabo las diversas pruebas deportivas con objeto de obtener las mejores marcas posibles.

Como hemos mencionado anteriormente, otro de los puntos de reflexión de la presente revisión ha sido observar si existen mecanismos que posibiliten disminuir las diferencias de rendimiento obtenidas entre las actividades llevadas a cabo en horario matutino con respecto al vespertino. En este aspecto, los autores establecen que la mayor extensión e “intensidad”

del calentamiento pre-actividad llevado a cabo por la mañana puede hacer que los resultados de las distintas pruebas se equiparen con los de las llevadas a cabo durante la tarde (Atkinson et al., 2005; Racinais et al., 2005; Souissi et al., 2010; Tylor et al., 2011). Así, los datos muestran que con un calentamiento más extenso durante el horario de mañana (e.g. 15 min de pedaleo en cicloergómetro al 50% de la potencia de salida) con respecto a uno más liviano llevado a cabo en la tarde (e.g. 5 min de pedaleo en cicloergómetro al 50% de la potencia de salida) no se observan diferencias estadísticamente significativas en cuanto al rendimiento de los deportistas en aspectos tales como la potencia máxima y potencia media (Souissi et al., 2010; Tylor et al., 2011). No obstante, algunos estudios afirman que aunque un calentamiento más extenso durante el horario de mañana aumenta los valores de rendimiento cercanos a los de la tarde, la influencia de los ritmos circadianos es superior a los efectos provocados por este procedimiento (Atkinson et al., 2005). Desde nuestro punto de vista, este aspecto debe ser considerado de especial interés y a tener muy en cuenta por parte de los entrenadores y preparadores de los distintos deportistas a la hora de planificar los entrenamientos de cara a tener la posibilidad de utilizar distintos tipos de calentamientos con el fin de reducir las diferencias producidas por el cambio horario. Por otra parte, dentro de este apartado que podríamos definir como “estrategias para paliar las diferencias de rendimiento mañana versus tarde”, creemos necesario mencionar la investigación llevada a cabo por Mora-Rodríguez et al., (2012) en la que se pretendió observar la influencia que podía tener suministrar a los sujetos integrantes de la muestra una determinada dosis de cafeína antes de la realización de las pruebas con objeto de valorar su variabilidad en el rendimiento físico. Los resultados de esta investigación mostraron un incremento de la velocidad de potencia máxima y de la velocidad de fuerza máxima de entre el 2,5-7,5% y del 4,6-6,9% respectivamente referente a las pruebas realizadas en la tarde con respecto a la mañana utilizando un placebo, sin embargo no se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en las pruebas realizadas en la tarde utilizando un placebo con respecto a las llevadas a cabo durante la mañana habiendo sido suministrada una determinada dosis de cafeína a los deportistas. Estos resultados coinciden con los obtenidos en otros estudios que afirman que la utilización de sustancias ergogénicas como la cafeína y pseudoefedrina en pruebas realizadas durante la mañana produce un incremento de rendimiento que provoca que no se observen diferencias significativas con respecto al rendimiento de la tarde (Mora-rodríguez et al., 2014; Pallarés et al., 2015). Lo que representa una posibilidad de equiparar el rendimiento de los deportistas en diferentes momentos del día con la ayuda de sustancias exógenas como la cafeína y la pseudoefedrina.

En resumen, la presente revisión se muestra unánime en afirmar que el rendimiento cardiorrespiratorio tanto en pruebas de carácter aeróbico como anaeróbico se maximizan en el horario de la tarde con respecto al de mañana. Además, las evidencias halladas también muestran una considerable mejora de los resultados obtenidos en aspectos tales como la potencia máxima, potencia media y velocidad máxima. Sin embargo, algunas de las investigaciones llevadas a cabo muestran diversas estrategias que minimizan las diferencias de rendimiento entre las pruebas llevadas a cabo en distintos rangos horarios y que consideramos de especial interés a la hora de planificar los entrenamientos de los deportista para obtener el máximo beneficio de los mismos, así como obtener las mejores marcas posibles en sus competiciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ángeles-Castellanos, M., Rodríguez, K., Salgado, R., & Escobar, C. (2007). Cronobiología médica. Fisiología y fisiopatología de los ritmos biológicos. *Rev Fac Med UNAM*, 50(6), 328-241.
- Atkinson, G., & Reilly, T. (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine*, 21(4), 292-312.
- Atkinson, G., Todd, C., Reilly, T., & Waterhouse, J. (2005). Diurnal variation in cycling performance: influence of warm-up. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 321-329.
- Cappaert, T. A. (1999). Time of Day Effect on Athletic Performance: An Update. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 13(4), 412-421.
- Carandente, F., Montaruli, A., Roveda, E., Calogiuri, G., Michielon, G., & La Torre, A. (2006). Morning or evening training: effect on heart rate circadian rhythm. *Sport Sciences for Health*, 1(3), 113-117.
- Chtourou, H., Zarrouk, N., Chaouachi, A., Dogui, M., Behm, D. G., Chamari, K., ... & Souissi, N. (2011). Diurnal variation in Wingate-test performance and associated electromyographic parameters. *Chronobiology International*, 28(8), 706-713.

- Decostre, V., Bianco, P., Lombardi, V., & Piazzesi, G. (2005). Effect of temperature on the working stroke of muscle myosin. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102(39), 13927-13932.
- Deschodt, V. J., & Arsac, L. M. (2004). Morning vs. evening maximal cycle power and technical swimming ability. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 18(1), 149-154.
- Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B., & Reilly, T. (2005). Circadian rhythms in sports performance-an update. *Chronobiology International*, 22(1), 21-44.
- Falgairrette, G. (2006). Effects of the time of day on repeated all-out cycle performance and short-term recovery patterns. *Int J Sports Med*, 27, 468-474.
- Hobson, R. M., Clapp, E. L., Watson, P., & Maughan, R. J. (2009). Exercise capacity in the heat is greater in the morning than in the evening in man. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(1), 174-180.
- Husmer, H. N. (2013). The Effects of Time of Day on Resistance Exercise Workout Responses.
- Javierre Garcés, C. F. (1994). *Ritmos circadianos y deporte. Estudio de las oscilaciones circadianas del rendimiento y de algunos de los factores que las afectan.*(tesis doctoral). Universidad de Barcelona.
- Kin-Isler, A. (2006). Time-of-day effects in maximal anaerobic performance and blood lactate concentration during and after a supramaximal exercise. *Isokinetics and Exercise Science*, 14(4), 335-340.
- Kline, C. E., Durstine, J. L., Davis, J. M., Moore, T. A., Devlin, T. M., Zielinski, M. R., & Youngstedt, S. D. (2007). Circadian variation in swim performance. *Journal of Applied Physiology*, 102(2), 641-649.
- Manfredini, R., Manfredini, F., Fersini, C., & Conconi, F. (1998). Circadian rhythms, athletic performance, and jet lag. *British Journal of Sports Medicine*, 32(2), 101-106.
- Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Ortega, J. F., & Fernández-Elías, V. E. (2012). Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular

- performance in highly resistance-trained. *PloS One*, 7(4), e33807. doi: 10.1371/journal.pone.0033807.
- Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Gullón, J. M., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E., & Ortega, J. F. (2015). Improvements on neuromuscular performance with caffeine ingestion depend on the time-of-day. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(3), 338-342. doi: 10.1016/j.jsams.2014.04.010.
- Morris, C., Atkinson, G., Drust, B., Marrin, K., & Gregson, W. (2009). Human core temperature responses during exercise and subsequent recovery: an important interaction between diurnal variation and measurement site. *Chronobiology International*, 26(3), 560-575.
- Moussay, S., Dosseville, F., Gauthier, A., Larue, J., Sesboüe, B., & Davenne, D. (2002). Circadian rhythms during cycling exercise and finger-tapping task. *Chronobiology International*, 19(6), 1137-1149.
- Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Moreno, J., Fernández-Elías, V. E., Ortega, J. F., & Mora-Rodríguez, R. (2014). Circadian rhythm effects on neuromuscular and sprint swimming performance. *Biological Rhythm Research*, 45(1), 51-60. doi:10.1080/09291016.2013.797160
- Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E., Aguado-Jiménez, R., Ortega, J. F., Gómez, C., Ventura, R., Segura, J. & Mora-Rodríguez, R. (2015). Pseudoephedrine and circadian rhythm interaction on neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. doi: 10.1111/sms.12385
- Racinais, S., Hue, O., & Blonc, S. (2004). Time-of-day effects on anaerobic muscular power in a moderately warm environment. *Chronobiology International*, 21(3), 485-495.
- Racinais, S., Blonc, S., & Hue, O. (2005). Effects of active warm-up and diurnal increase in temperature on muscular power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(12), 2134.
- Reilly, T., & Baxter, C. (1983). Influence of time of day on reactions to cycling at a fixed high intensity. *British Journal of Sports Medicine*, 17(2), 128-130.

- Şekir, U., Özyener, F., & Gür, H. (2002). Effect of time of day on the relationship between lactate and ventilatory thresholds: a brief report. *Journal of Sports Science & Medicine*, 1(4), 136.
- Souissi, N., Sesboué, B., Gauthier, A., Larue, J., & Davenne, D. (2003). Effects of one night's sleep deprivation on anaerobic performance the following day. *European Journal of Applied Physiology*, 89(3-4), 359-366.
- Souissi, N., Bessot, N., Chamari, K., Gauthier, A., Sesboué, B., & Davenne, D. (2007). Effect of time of day on aerobic contribution to the 30-s Wingate test performance. *Chronobiology International*, 24(4), 739-748.
- Souissi, N., Driss, T., Chamari, K., Vandewalle, H., Davenne, D., Gam, A., & Jousselin, E. (2010). Diurnal variation in Wingate test performances: influence of active warm-up. *Chronobiology International*, 27(3), 640-652.
- Taylor, K., Cronin, J. B., Gill, N., Chapman, D. W., & Sheppard, J. M. (2011). Warm-up affects diurnal variation in power output. *International Journal of Sports Medicine*, 32(3), 185.
- Torii, M., Nakayama, H., & Sasaki, T. (1995). Thermoregulation of exercising men in the morning rise and evening fall phases of internal temperature. *British Journal of Sports Medicine*, 29(2), 113-120.
- Waterhouse, J., Edwards, B., Bedford, P., Hughes, A., Robinson, K., Nevill, A., & Reilly, T. (2004). Thermoregulation during mild exercise at different circadian times. *Chronobiology International*, 21(2), 253-275.
- Waterhouse, J., Drust, B., Weinert, D., Edwards, B., Gregson, W., Atkinson, G., & Reilly, T. (2005). The circadian rhythm of core temperature: origin and some implications for exercise performance. *Chronobiology International*, 22(2), 207-225.