

Grado en Ciencias de la  
Actividad Física y del Deporte  
Trabajo Fin de Grado  
Curso 2014-2015



# EFECTO DEL RITMO CIRCADIANO SOBRE LA FUERZA Y LA POTENCIA MUSCULAR: UNA REVISIÓN

Álvaro Hernández Ruiz  
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**

EFFECTO DEL RITMO  
CIRCADIANO SOBRE LA  
FUERZA Y POTENCIA  
MUSCULAR: UNA  
REVISIÓN  
Álvaro Hernández Ruiz  
Jesús García Pallarés  
Tipo de TFG: Revisión  
Bibliográfica

Curso 2014-2015

Hernández-Ruiz, A. (2015). *Efecto del ritmo circadiano sobre la fuerza y la potencia muscular: una revisión*. Trabajo de Fin de Grado. Murcia: Universidad de Murcia.

## RESUMEN

Diferentes funciones fisiológicas y psicológicas se han mostrado sometidas a cambios en relación al momento del cambio solar. Estas variaciones son conocidas como ritmos circadianos y producen picos máximos (acrofase) y mínimos (batifase) de la función motora en función de la hora del día. Muchos de los componentes relacionados con el rendimiento deportivo se ha demostrado que poseen estos ritmos circadianos, es por ello que el objetivo de esta revisión es actualizar el conocimiento sobre cómo afecta el ritmo circadiano sobre la fuerza y potencia muscular en ejercicios de corta duración. Una revisión de la literatura reveló 20 artículos que midieron el rendimiento neuromuscular en distintos momentos del día. Con objeto de poder comparar los efectos que las distintas horas del día han tenido sobre el rendimiento neuromuscular se ha calculado los estadísticos descriptivos del porcentaje de cambio y el tamaño del efecto sobre la variable dependiente estudiada, los cuales han sido plasmados en una tabla de resultados. Las conclusiones principales de esta revisión fueron que, de forma general, i) el rendimiento neuromuscular en ejercicios de corta duración se maximiza en horarios vespertinos respecto a los matutinos; ii) no todos los tipos de ejercicio (isométrico, isocinético e isoinercial) ni todos los grupos musculares tienen mayor rendimiento neuromuscular a la misma hora del día; iii) el aumento de la temperatura corporal (tanto por calentamiento activo como por calentamiento pasivo) y/o la ingesta de ciertas ayudas ergogénicas pueden contrarrestar la incidencia de los ritmos circadianos sobre el rendimiento deportivo en A.M.; iv) el ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular en mujeres no parece ser tan evidente; v) el ritmo circadiano en el rendimiento neuromuscular en ciegos es de funcionamiento libre.

**Palabras claves:** ritmo circadiano, fuerza, potencia muscular, torque, MVC.

Hernández-Ruiz, A. (2015). *Circadian rhythm effects on muscle strength and power: a review*. Degree's Thesis. Murcia: University of Murcia.

## ABSTRACT

Different physiological and psychological functions which are subject to change in relation to the 24-hour solar cycle. These variations are known as circadian rhythms and produce maximum peaks (acrophase) and minimum (batiphase) on motor function depending on the time-of-day. It is shown that many components related to athletic performance possess these circadian rhythms, so that, the aim of this review is to update the knowledge of how the circadian rhythm affects on muscle strength and power in short duration exercises. A review of the literature revealed 20 items neuromuscular performance measured at different times of the day. In order to compare the effects that different times-of-day have had on neuromuscular performance it has been calculated descriptive statistics of the percent change and the size of the effect on the dependent variable studied, which have been reflected in a results table. Generally speaking, the main conclusions of this review have been that, i) neuromuscular performance in exercises of short duration is maximized evening hours regarding morning; ii) not all types of exercise (isometric, isokinetic and isoinertial) and all the muscle groups are more neuromuscular performance at the same time of day; iii) the increase in body temperature (both active heating as passive heating) and / or intake of certain ergogenic aids can offset the impact of circadian rhythms on sports performance in A.M.; iv) the circadian rhythm on neuromuscular performance in women does not seem so obvious; v) the circadian rhythm in blind neuromuscular performance is free running.

**Key Words:** circadian rhythm, strength, muscle power, torque, MVC.

## **Agradecimientos**

*Quiero agradecer a Jesús García Pallares que me haya ayudado a hacer posible la realización de este trabajo de fin de grado, del cual no solo he aprendido conocimientos, sino también otros valores de la vida como disciplina, seriedad cuando hay que ser serios, responsabilidad e implicación en el trabajo.*

*Por otro lado, agradezco a Arturo Díaz Suárez, actual Decano de la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Murcia, y a José María López Gullón la gran ayuda e interés por mí durante estos cuatro años de carrera.*

*Por último agradezco el cariño y apoyo recibido por mi madre, padre y hermana para llegar hasta donde he llegado académicamente hablando.*

*Gracias.*

## Índice

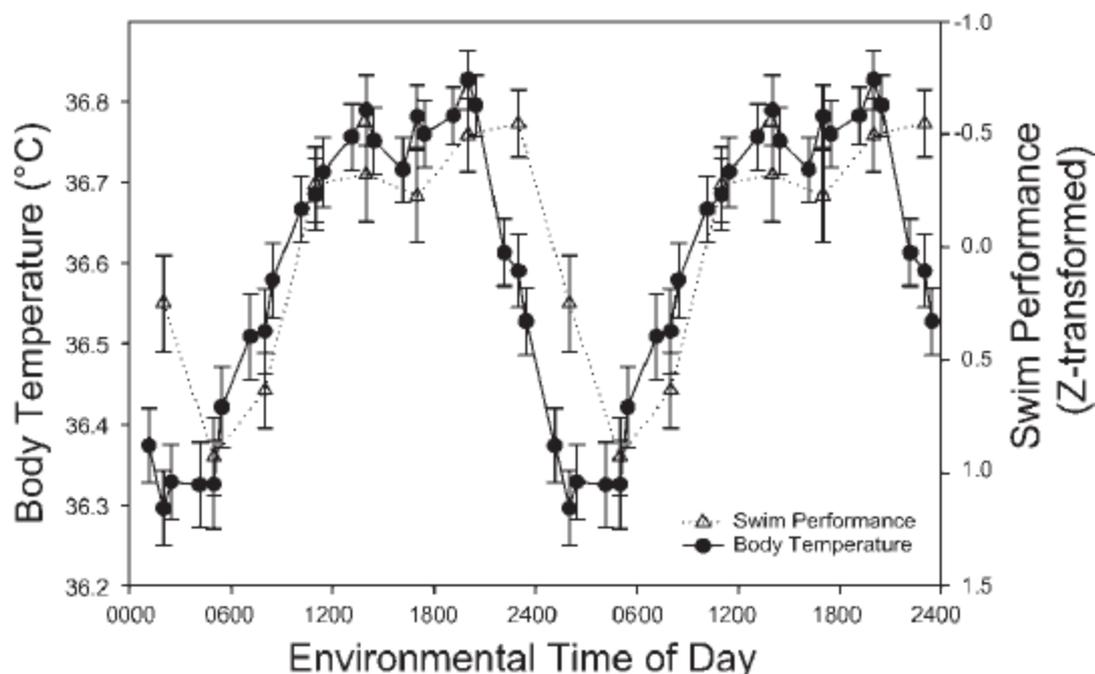
	<b>Pág.</b>
<b>1. Introducción</b>	1
<b>2. Método</b>	3
<b>3. Resultados</b>	5
<b>4. Discusión</b>	12
4.1. Diferencias según tipo de ejercicio y grupo muscular	12
4.2. Ayudas ergogénicas	13
4.3. Temperatura corporal	14
4.4. Efecto del sexo de los atletas	15
4.5. Grupo especial: ciegos	16
4.6. Conclusiones	16
<b>5. Referencias bibliográficas</b>	17

## 1. INTRODUCCIÓN.

Los ritmos circadianos son variaciones biológicas que se repiten con una periodicidad de aproximadamente 24 h (Reilly y Waterhouse, 2009). En humanos, los ritmos circadianos son originados por un marcapasos endógeno, el núcleo supraquiasmático. Este núcleo, localizado dentro del hipotálamo, recibe la entrada directa del ciclo solar a través de la retina (Hastings y Herzog, 2004). Con esta información proporcionada por la vía retino-hipotalámica, el núcleo supraquiasmático coordina los ritmos biológicos diarios (i.e., secreción hormonal, cambios de temperatura, activación neuronal) al igual que el ciclo vigilia-sueño (Buijs, Van Eden, Goncharuk y Kalsbeek, 2003; Waterhouse et al., 2005). Estas oscilaciones rítmicas de procesos biológicos controlan muchos de nuestros hábitos y acciones, y también influyen en las actividades que realizamos durante el día. También se ha mostrado que muchas funciones fisiológicas asociadas con el rendimiento atlético parecen seguir un ritmo circadiano específico (Winget, DeRoshia y Holley, 1985). Funciones como el descanso de los niveles sensomotores, perceptivos, y de rendimiento cognitivo, así como diferentes variables neuromusculares, conductuales, cardiovasculares y metabólicas se ha descubierto que ocurren por la noche, al igual que el ritmo de la máxima temperatura del cuerpo (Cappaert, 1999). Por otro lado, el concepto de ritmo circadiano en el rendimiento físico humano ha sido investigado ampliamente (Atkinson y Reilly, 1996; Drust, Waterhouse, Atkinson, Edwards y Reilly, 2005; Redlin y Mrosovsky, 1997; Reilly, 1990). Actividades físicas de carácter aeróbico, anaeróbico, habilidades motoras finas y gruesas han mostrado un ritmo circadiano claro (Bessot et al., 2007; Kline et al., 2007; Reilly et al., 2007). Por ello, hubo un gran interés en demostrar cómo influía el ritmo circadiano en el ejercicio a lo largo del día.

Durante el día, los distintos aspectos del rendimiento físico (i.e. la resistencia muscular, la potencia muscular, la resistencia cardiorrespiratoria y la amplitud de movimiento), varían notablemente, siendo este rendimiento menor a primera hora de la mañana y a última hora de la noche (batifase) en comparación con el mediodía y por la tarde-noche (acrofase) (Bye, Hill, Hughes y Peck, 1975; Sedliak, Finni, Peltonen y Häkkinen, 2008; Souissi et al., 2007, 2010). Del mismo modo, estas disminuciones del rendimiento por la mañana también pueden ser observadas tanto en tareas cíclicas simples (e.g., ciclismo (Moussay et al., 2003) o el nado (Kline et al., 2007; Pallarés et al., 2014)), como en tareas complejas que implican la integración de información (e.g., el servicio de tenis (Atkinson y

Spiers, 1998) o escritura a mano (Jasper, Häußler, Baur, Marquardt y Hermsdörfer, 2009)). Por otro lado, aunque la relación entre el patrón del ritmo circadiano y la disminución del rendimiento deportivo sea bien conocida, los mecanismos que subyacen a esta reducción de la función motora no son todavía evidentes (Mora-Rodríguez, Pallarés, López-Samanes, Ortega y Fernández-Elías, 2012). Acompañado a estos cambios diurnos en el rendimiento motor, investigadores han encontrado que este reloj endógeno implica cambios en la temperatura basal del cuerpo (Figura 1) y en la concentración de hormonas en sangre, que a su vez, podrían afectar a la excreción urinaria de metabolitos, al metabolismo del músculo, y a la respuesta cardíaca en el ejercicio (i.e., frecuencia cardíaca y presión arterial) (Atkinson y Reilly, 1996; Decostre, Bianco, Lombardi y Piazzasi, 2005; Kline et al., 2007). Otros estudios, centrados en los efectos del ritmo circadiano sobre el propio músculo, sugieren alteraciones en el proceso de puentes cruzados de actina-miosina (Starkie, Hargreaves, Lambert, Progetto y Febbraio, 1999), en el metabolismo del fosfágeno, y en la capacidad de proteger al músculo (Atkinson y Reilly, 1996). Parece por tanto que el ritmo circadiano tiene un claro efecto sobre el rendimiento deportivo, aunque los mecanismos centrales y periféricos que están detrás de estas fluctuaciones de la función motora no se han esclarecido en su totalidad.



**Figura 1.-** Relación entre la temperatura corporal y el rendimiento específico en natación. Tomado de Kline et al., 2007.

Los cambios en el rendimiento motor asociado con el ritmo circadiano han sido descritos sobre todo para esfuerzos media y larga duración que dependen principalmente de la resistencia cardiorrespiratoria (Atkinson, Todd, Reilly y Waterhouse, 2005; Simmonds, Minahan y Sabapathy, 2010). Sin embargo, el ritmo circadiano también podría afectar a esfuerzos de corta y muy corta duración con grandes requerimientos de fuerza y potencia muscular (i.e. el funcionamiento neuromuscular (Pallarés et al., 2013; Sánchez-Medina, González-Badillo, Pérez y Pallarés, 2013; Souissi et al., 2007; Teo, McGuigan y Newton, 2011)). Por otro lado, un número limitado de estudios han manipulado algunos de los factores que intervienen en este ritmo biológico para tratar de contrarrestar el efecto de la batifase sobre el rendimiento motor. Así, algunos investigadores han aumentado la temperatura corporal por la mañana con un calentamiento pasivo (Racinais, Blonc, Jonville y Hue, 2005a) o activo (Souissi et al., 2010; Racinais, Blonc y Hue, 2005b) ya que se ha planteado la hipótesis de que el aumento diurno de la temperatura corporal media mejora la contracción muscular. Igualmente se ha visto que dosis moderadas de estimulantes (e.g. cafeína) tienen efectos ergogénicos sobre la velocidad de contracción muscular en deportistas altamente entrenados por la mañana (Mora-Rodríguez et al., 2012; Pallarés et al., 2013), pero no por la tarde (Mora-Rodríguez et al., 2014).

Por todo ello, el objetivo de esta revisión sistemática fue actualizar el conocimiento sobre los efectos del ritmo circadiano sobre la fuerza y potencia muscular, con el objetivo de proporcionar recomendaciones claras a seguir para el entrenador, el atleta o cualquier individuo que quiera mejorar su rendimiento en función de la hora del día a la que se realice.

## **2. MÉTODO.**

Para la realización de esta revisión bibliográfica la información fue obtenida a partir de la búsqueda en las bases de datos Medline, mediante su buscador específico Pubmed, en Web of Science, perteneciente a la Universidad de Murcia y en otros buscadores como Google Scholar. Se utilizó en todo caso búsquedas con la combinación de las siguientes palabras clave: time-of-day, circadian rhythm, strength, muscular power, torque, MVC (maximal voluntary contraction), 1RM, repetition to failure, rate of force development.

Los artículos citados en algunas de las investigaciones de referencia también se utilizaron, así como listas de referencias bibliográficas obtenidas de dichas publicaciones. Los

criterios de inclusión fueron los siguientes: i) artículos originales experimentales que hayan manipulado como variable independiente principal el ritmo circadiano, ii) artículos publicados en revistas incluidas en el Journal Citation Reports (JCR), iii) se excluyeron las tesis y las actas de congresos, iv) estudios que hayan analizado los efectos del ritmo circadiano en el rendimiento neuromuscular de corta duración (i.e., fuerza máxima absoluta o relativa isométrica, isocinetica o isoinercial, fuerza explosiva y potencia muscular). Estas combinaciones de búsqueda dieron como resultado la inclusión de 20 artículos originales. Esta búsqueda bibliográfica fue llevada a cabo desde el día 2 de febrero de 2015 hasta el 8 de abril de este mismo año.

Con objeto de poder comparar los efectos que las distintas horas del día han tenido sobre el rendimiento neuromuscular se ha calculado los estadísticos descriptivos del porcentaje de cambio y el tamaño del efecto sobre la variable dependiente estudiada (tabla 2).

Finalmente, y una vez constatado 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 (Tabla 1). 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.

<b>Grupo</b>	<b>Nivel de condición física</b>	<b>Nº de estudios incluidos</b>
1	Sedentarios	3
2	Moderadamente activos	0
3	Altamente activos	11
4	Atletas alto rendimiento	7

- 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 en competiciones.

### 3. RESULTADOS.

**Tabla 2.-** Efecto del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular.

Estudio	Sujetos	Diseño del estudio	Protocolo	Hallazgos	Mejoras (% de cambio; valor de p; Tamaño del efecto)
Atkinson et al., 1993.	-14 varones -Grupo nº 1 (7 sujetos) y nº 3 (7 sujetos). -19-29 años.	-El estudio se llevó a cabo en varios momentos del día: · A las 2:00 h (A.M.) · A las 6:00 h (A.M.) · A las 10:00 h (A.M.) · A las 14:00 h (P.M.) · A las 18:00 h (P.M.) · A las 22:00 h (P.M.)	-Con HG, contracción con mano derecha:  1) F <sub>A</sub> isométrica	1) Valores de F <sub>A</sub> isométrica ↑ en P.M. respecto A.M. tanto en grupo-activos como grupo-inactivos.  Acrofase 17:00-19:00.	1) %:ND; p:ND; TE:ND
Bambaeichi et al., 2004.	-8 mujeres -Grupo nº 1. -30±5 años.	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día: · A las 6:00 h (A.M.) · A las 18:00 h (P.M.)	-Calentamiento estandarizado en cicloergómetro. -Con dinamómetro isocinético en flexo-extensión de rodilla:  1) TME. 2) TMF.	1) No se detectaron diferencias significativas en TME en A.M. respecto P.M.  2) No se detectaron diferencias significativas en TMF en A.M. respecto P.M.	
Gauthier et al., 1997	-7 sujetos (4 varones y 3 mujeres). -Grupo nº 3 -21.3±2.4 años.	-El estudio se llevó a cabo en varios momentos del día: · A las 0:00 h. (P.M.) · A las 6:00 h. (A.M.) · A las 9:00 h. (A.M.) · A las 12:00 h. (A.M.) · A las 15:00 h. (P.M.) · A las 18:00 h. (P.M.) · A las 21:00 h. (P.M.)	-Con dinamómetro en flexión de codo, contracciones de los flexores del codo:  1) MVC isométrica.	1) Valores de MVC isométrica ↑ en P.M. respecto a A.M.  Acrofase 17:58±0:35 y batifase 5:58±0:36.	1) %:ND; p<0.05; TE:ND.

**Tabla 2 (continuación).**- Efecto del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular.

Guette et al., 2013.	-11 varones -Grupo nº 3 -23.4±0.7 años.	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día: · A las 6:00-8:00 h (A.M.) · A las 17:00-19:00 h (P.M.)	-EMG del tríceps sural, con flexiones plantares:  1) MVC isométrica	1) Valores de MVC isométrica ↑ en A.M. respecto P.M.	1)-7.0±14.7%; p<0.05; TE:ND.
Jasper et al., 2009.	-10 varones (diestros) -Grupo nº 3. -23.8±3.4 años.	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día: · Antes del mediodía (A.M.) · Después del mediodía (P.M.)	-Con HG electrónico, contracciones con ambas manos:  1) F <sub>A</sub> isométrica.	1) Valores de F <sub>A</sub> isométrica ↑ P.M. respecto A.M. en ambas manos.  Acrofase mano derecha e izquierda, 18:12 y 18:09 respectivamente.	1) %:ND; p:ND; TE:ND.
Martin et al., 1999.	-13 sujetos (12 varones y 1 mujer). -Grupo nº 3. -22-40 años.	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día: · A las 7:00 h (A.M.) · A las 18:00 h (P.M.)	-EMG del aductor del dedo pulgar, con contracciones isométricas, mano izquierda:  1) MVC.	1) Valores de MVC en aductor del dedo pulgar ↑ P.M. respecto a A.M.	1) 8.9%; p<0.05; TE:ND.
McCormick et al., 2012	-11 varones -Grupo nº 3 -22.9±2.6 años.	-El estudio se llevó a cabo a cada hora en punto durante 12 horas (8:00-20:00 h).	-Salto de longitud sin carrera:  1) P <sub>MAX</sub> -Con HG flexión de mano:  2) F <sub>A</sub> isométrica -Salto vertical:  3) P <sub>MAX</sub>	No se detectaron diferencias significativas en ninguna de las variables de rendimiento medidas en el período de 12 h	

**Tabla 2 (continuación).**- Efecto del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular.

Mora-Rodríguez et al., 2012.	-12 varones -Grupo nº 4 -19.7±2.8 años	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día con sujetos-placebo y sujetos-cafeína (3mg/kg de peso): · A las 10:00 h (A.M. <sub>PLAC</sub> ) · A las 10:00 h (A.M. <sub>CAFF</sub> ) · A las 18:00 h (P.M. <sub>PLAC</sub> )	-Calentamiento estandarizado. Trote, estiramientos estáticos y movilidad articular. -Con encoder lineal y su software asociado, sentadilla completa (SQ) y press banca (BP) al 75% de 1RM a la carga de 1m/s:  1) P <sub>MAX</sub> 2) F <sub>MAX</sub> dinámica	1) Valores de P <sub>MAX</sub> ↑ en A.M. <sub>CAFF</sub> y P.M. <sub>PLAC</sub> respecto a A.M. <sub>PLAC</sub> .  2) Valores de F <sub>MAX</sub> dinámica ↑ en A.M. <sub>CAFF</sub> y P.M. <sub>PLAC</sub> respecto a A.M. <sub>PLAC</sub> .	1) 2.5-7.5%; p=0.000-0.002; TE: 0.58-2.10.  2) 4.6±6.9%; p=0.003-0.023; TE: 0.68-1.35.
Mora-Rodríguez et al., 2014.	-13 varones -Grupo nº 4 -21.9±2.9 años	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día con sujetos-placebo y sujetos-cafeína (6mg/kg de peso): · A las 8:00 h (A.M. <sub>PLAC</sub> ) · A las 8:00 h (A.M. <sub>CAFF</sub> ) · A las 18:00 h (P.M. <sub>PLAC</sub> ) · A las 18:00 h (P.M. <sub>CAFF</sub> )	-Calentamiento estandarizado. Trote y estiramientos estáticos.  -Con encoder lineal y su software asociado, SQ y BP al 25%, 50%, 75% y 90% de 1RM:  1) VMP.	1) Valores de VMP en 25%,50% y 75% de 1RM en SQ ↑ en A.M. <sub>CAFF</sub> , P.M. <sub>CAFF</sub> y P.M. <sub>PLAC</sub> respecto a A.M. <sub>PLAC</sub> .  No se detectaron diferencias significativas de VMP entre la media de A.M. <sub>CAFF</sub> Y P.M. <sub>CAFF</sub> respecto a P.M. <sub>PLAC</sub> . No se detectaron diferencias significativas de VMP en BP en ninguna de las sesiones de estudio, pero A.M. <sub>CAFF</sub> , P.M. <sub>CAFF</sub> y P.M. <sub>PLAC</sub> ↑ % y tamaño del efecto que en A.M. <sub>PLAC</sub> .	1) 5.04 -8.05%; p=0.037-0.000; TE:0.75-1.16.
Nicolas et al., 2005.	-12 varones. -Grupo nº 3. -24±0.7 años.	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día: · A las 6:00 h (A.M.) · A las 18:00 h (P.M.)	-Con dinamómetro isocinético en flexo-extensión de rodilla, contracciones con extensores de rodilla de pierna dominante, medidas con EMG:  1) MVC.	1) Valores de MVC ↑ en P.M. respecto A.M.	1) 7.73±1.9%; p<0.003; TE:2.36.

**Tabla 2 (continuación).**- Efecto del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular.

Pallarés et al., 2014.	-12 sujetos. (6 varones y 6 mujeres). -Grupo nº 4. -17.1±2.7 años.	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día: · A las 10:00 h (A.M.) · A las 18:00 h (P.M.)	-Calentamiento estandarizado en bicicleta estática, estiramientos y movilidad articular:  -CMJ:  1) A <sub>V</sub> . -BP ante la carga del 75% de 1RM:  2) VMP. -BP ante la carga de 1m/s:  3) VMP.	1) Valores de A <sub>V</sub> ↑ P.M. respecto A.M.  2) Valores de VMP en BP 75% de 1RM ↑ P.M. respecto A.M.  3) Valores de VMP en BP ante carga de 1m/s ↑ P.M. respecto A.M.	1) 4.3%; p=0.02; TE:0.65.  2) 3.6%; p=0.04; TE:1.87  3) 5.1%; p=0.00; TE:2.10.
Pallarés et al., 2015.	-9 varones -Grupo nº 4 -22.1±6.6 años.	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día con sujetos-placebo y sujetos-pseudofedrina (180mg/ingesta): · A las 8:30 h (A.M. <sub>PSE</sub> ). · A las 8:30 h (A.M. <sub>PLAC</sub> ). · A las 18:30 h (P.M. <sub>PSE</sub> ). · A las 18:30 h (P.M. <sub>PLAC</sub> ).	-Calentamiento estandarizado, trotar, estiramientos y movilidad articular  -Con máquina Smith y 2 transductores de velocidad lineal, SQ y BP con 4 cargas incrementales (25%, 50%, 75% y 90% de 1RM) a máxima velocidad:  1)VMP	1) Valores de VMP ↑ en SQ (25% y 50% de 1RM) en A.M. <sub>PSE</sub> , P.M. <sub>PSE</sub> y P.M. <sub>PLAC</sub> respecto a A.M. <sub>PLAC</sub> .  Valores de VMP ↑ en SQ (75% de 1RM) en P.M. <sub>PSE</sub> y P.M. <sub>PLAC</sub> respecto a A.M. <sub>PLAC</sub> .  Valores de VMP ↑ en BP (50%, 75%, 90% de 1RM) en P.M. <sub>PSE</sub> y P.M. <sub>PLAC</sub> respecto a A.M. <sub>PSE</sub> y A.M. <sub>PLAC</sub> , excepto en 25% de 1RM donde P.M. <sub>PLAC</sub> no alcanzó diferencias significativas.	1) 4.4–8.7%; p<0.05; TE=1.09–1.72.  9.5–11.7%; p<0.05; TE=0.91–1.27.  3,0-5,7%; p<0,05; TE=0,92-1,41.
Pereira et al., 2011.	-30 varones. -Grupo nº 3 -22±1 años	-El estudio se llevó a cabo en 3 momentos del día: · A las 7:30-9:30 h (A.M.) · A las 13:30-15:30 h (P.M. <sub>1</sub> ) · A las 19:30-21:30 h (P.M. <sub>2</sub> )	-Calentamiento estandarizado en cicloergómetro. -Con señales bioeléctricas a través de un sistema de EMG, contracciones de extensión de rodilla: 1) P <sub>MAX</sub> isométrica. 2) F <sub>MAX</sub> isométrica.	1) Valores de P <sub>MAX</sub> isométrica ↑ en P.M. <sub>2</sub> respecto a los valores de A.M. y P.M. <sub>1</sub> 2) Valores de F <sub>MAX</sub> ↑ en P.M. <sub>2</sub> respecto a los valores de la A.M. y P.M. <sub>1</sub> . No se observaron diferencias significativas entre A.M. y P.M. <sub>1</sub>	1) 24%; p<0.05; TE:3.5.  2) 22%; p<0.05; TE:4.11.

**Tabla 2 (continuación).**- Efecto del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular.

Racinais et al., 2004.	-23 sujetos (15 varones y 9 mujeres). -Grupo nº 3 -22.8±3 años.	-El estudio se llevó a cabo en 3 momentos del día: · A las 8:00 h (A.M.) · A las 13:00 h (P.M.) · A las 17:00 h (P.M.).	-Salto vertical:  1) A <sub>V</sub> .	1) No se detectaron diferencias significativas en A <sub>V</sub> en ninguna de las sesiones.
Racinais et al., 2005a.	-11 varones. -Grupo nº 3 -26±4 años	-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día y en distintas condiciones ambientales; clima neutral (N) y clima moderadamente cálido y húmedo (CYH):  · A las 7:00-9:00 h (A.M. <sub>N</sub> ) · A las 7:00-9:00 h (A.M. <sub>CYH</sub> ) · A las 17:00-19:00 h (P.M. <sub>N</sub> ) · A las 17:00-19:00 h (P.M. <sub>CYH</sub> )	-Aclimatación con 60 min. de descanso en habitación con clima neutral o moderadamente cálido y húmedo.  -EMG en extensiones de rodilla:  1) MC durante MVC	1) Valores de MC durante MVC ↑ A.M. <sub>CYH</sub> respecto a A.M. <sub>N</sub> .  No se detectaron diferencias significativas de MC en MVC entre P.M. <sub>N</sub> y P.M. <sub>CYH</sub> .  No se detectaron diferencias significativas de MC en MVC entre A.M. <sub>N</sub> y P.M. <sub>N</sub> , y entre A.M. <sub>CYH</sub> y P.M. <sub>CYH</sub>  1) 23.72%; p<0.05; TE:2.8
Sedliak et al., 2007.	-38 varones. -Grupo nº 1. -20-45 años.	-El estudio se llevó a cabo en 4 momentos del día: · A las 7:00-8:00 h (A.M.) · A las 12:00-13:00 h (P.M. <sub>1</sub> ) · A las 17:00-18:00 h (P.M. <sub>2</sub> ) · A las 20:30-21:30 h (P.M. <sub>3</sub> )	-Calentamiento estandarizado en cicloergómetro. -Con dinamómetro isocinético en flexo-extensión de rodilla:  1) TME. 2) TMF.	1) No se detectaron diferencias significativas en TME en ninguna de las sesiones.  2) No se detectaron diferencias significativas en TMF en ninguna de las sesiones.

**Tabla 2 (continuación).** Efecto del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular.

Sinclair et al., 2013.	<p>-24 sujetos (12 varones y 12 mujeres). -Grupo nº 3 -Varones: 22.5±1.9 años -Mujeres: 21.5±2.6 años.</p>	<p>-El estudio se llevó a cabo en 3 momentos del día: · A las 9:00 h (A.M.). · A las 14:00 h (P.M.<sub>1</sub>). · A las 18:00 h (P.M.<sub>2</sub>).</p>	<p>-Calentamiento estandarizado en cicloergómetro y estiramientos estáticos y dinámicos.  -Con dinamómetro isocinético en flexo-extensión de rodilla:  1) TMF en varones. 2) TMF en mujeres. 3) TME en varones. 4) TME en mujeres.</p>	<p>1) Valores de TMF ↑ en P.M.<sub>2</sub> y P.M.<sub>1</sub> respecto a A.M. en varones. No se detectaron diferencias significativas entre P.M.<sub>2</sub> y P.M.<sub>1</sub>. 2) Valores de TMF ↑ en P.M.<sub>2</sub> y P.M.<sub>1</sub> respecto a A.M. en mujeres. No se detectaron diferencias significativas entre P.M.<sub>2</sub> y P.M.<sub>1</sub>. 3) No se detectaron diferencias significativas en TME en las distintas sesiones en varones. 4) Valores de TME ↑ en A.M. y P.M.<sub>1</sub> respecto a P.M.<sub>2</sub>. No se detectaron diferencias significativas entre A.M. y P.M.<sub>1</sub>.</p>	<p>1) 11.6%; p&lt;0.01; TE: 0.465.  2) 9.4%; p&lt;0.01; TE: 0.475.  4) 19.22%; p&lt;0.05; TE:1.713</p>
Souissi et al., 2013.	<p>-12 varones. -Grupo nº 4. -18.6±2.4 años.</p>	<p>-El estudio se llevó a cabo en 2 momentos del día: · A las 9:00-10:00 h (A.M.) · A las 16:00-17:00 h (P.M.)</p>	<p>-Calentamiento general: Trotar a baja intensidad y estiramientos.  -Calentamiento específico: ataques específicos de judo.  -Con HG, flexión de mano:  1) F<sub>A</sub> isométrica.  -Con transductor lineal de fuerza, flexión de codo isométrica:  2) MVC</p>	<p>1) Valores de F<sub>A</sub> isométrica ↑ en P.M. respecto a A.M.  2) Valores de MVC ↑ en P.M. respecto a A.M.</p>	<p>1) 3.5±3.9%; p&lt;0.05; TE:ND.  2) 11.8±7.4%; p&lt;0.01; TE:ND.</p>

**Tabla 2 (continuación).**- Efecto del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular.

Squarcini et al., 2013.	<p>-10 sujetos (6 varones y 4 mujeres). -6 sujetos formaron el grupo experimental (ciegos) y 4 sujetos el grupo control. -Grupo nº 4 -29.5±4.92 años</p>	<p>-El estudio se llevó a cabo en 6 momentos del día separados por un mínimo de 8 h: · A las 2:00 h (A.M.) · A las 6:00 h (A.M.) · A las 10:00 h (A.M.) · A las 18:00 h (P.M.) · A las 22:00 h (P.M.)</p>	<p>-Calentamiento estandarizado. -Con HG hidráulico, contracciones con mano dominante y no dominante: 1) F<sub>A</sub> isométrica. -Extensión máxima de la columna lumbar en suelo: 2) F<sub>MAX</sub> isométrica parte posterior. -Con dinamómetro isocinético en flexo-extensión de rodilla: 3) MVC</p>	<p>1) Grupo control F<sub>A</sub> isométrica ↑ en P.M. que en A.M. 2) Grupo control F<sub>MAX</sub> isométrica ↑ en P.M. que en A.M. 3) Grupo control MVC ↑ en P.M. que en A.M. · En ciegos independientemente del grupo muscular y la velocidad de la contracción muscular, el patrón de fuerza fue de funcionamiento libre</p>	<p>1) %: ND; p:ND; TE:ND 2) %: ND; p:ND; TE:ND 3) %: ND; p:ND; TE:ND</p>
Wyse et al., 1994.	<p>-9 varones -Grupo nº 4. -19.6±0.5 años.</p>	<p>El estudio se llevó a cabo en 3 momentos del día: · A las 8:00-9:00 h (A.M.) · A las 13:00-14:00 h (P.M.<sub>1</sub>) · A las 18:00-19:30 h (P.M.<sub>2</sub>)</p>	<p>-Calentamiento estandarizado en cicloergómetro y estiramiento estático. -Con dinamómetro isocinético en flexo-extensión de rodilla: 1) TME. 2) TMF. 3) RTM.</p>	<p>1) Valores de TME ↑ en P.M.<sub>2</sub> respecto a la media de los valores de A.M. y P.M.<sub>1</sub>. 2) Valores de TMF ↑ en P.M.<sub>2</sub> respecto a la media de los valores de A.M. y P.M.<sub>1</sub>. 3) Valores de RTM ↑ en P.M.<sub>2</sub> respecto a la media de los valores de A.M. y P.M.<sub>1</sub>.</p>	<p>1) %: ND; p&lt;0.03; TE:0.258. 2) 11.13%; p&lt;0.03; TE:0.291. 3) 2.76%; p&lt;0.03; TE:0.3.</p>

A<sub>V</sub>: altura de vuelo; BP: press de banca; F<sub>A</sub>: fuerza de agarre; ND: no disponible; F<sub>MAX</sub>: fuerza máxima; HG: hand grip-dinamómetro de mano; MC: contractibilidad muscular; MVC: contracción voluntaria máxima; p<0,05: valor significativo; P<sub>MAX</sub>: potencia máxima; RTM: relación del torque máximo; SQ: sentadilla; TE: tamaño del efecto; TME: torque de máxima extensión; TMF: torque de máxima flexión; VMP: velocidad media propulsiva

## **4. DISCUSIÓN.**

El objetivo principal de esta revisión sistemática fue constatar y estudiar en su propio contexto los efectos del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular. Los principales hallazgos fueron que los valores de fuerza y potencia muscular se maximizan en horarios vespertinos respecto a los matutinos. Además, diferentes covariables pueden tener un efecto notable sobre el efecto de este reloj biológico en el rendimiento motor.

### **4.1. DIFERENCIAS SEGÚN TIPO DE EJERCICIO Y GRUPO MUSCULAR.**

Los ejercicios de corta duración, presentan la característica común de obtener mayor rendimiento neuromuscular por la tarde (e.g., entre las 16:00-20:00 horas) que por la mañana (e.g., entre las 6:00-10:00 horas). Aunque algunos estudios no observaron ninguna diferencia significativa en la mañana respecto a la tarde, especialmente en contracciones isocinéticas (Bambaeichi, Reilly, Cable y Giacomoni, 2004; Racinais et al., 2005a; Sedliak, Finni, Cheng, Kraemer y Häkkinen, 2007) e isoinerciales (McCormick, Kilgore, Watson y Baker, 2012; Racinais et al., 2004), la mayoría de los estudios informaron consistentemente un rendimiento mejorado en horario vespertino en comparación con el matutino. Este incremento P.M. respecto a A.M. se ha observado para:

1) Ejercicios isométricos: con un 70% de artículos revisados que constatan este efecto del ritmo circadiano, entre los que se mide la fuerza de agarre, (Atkinson, Coldwells, Reilly y Waterhouse, 1993; Jasper et al., 2009; Souissi et al., 2013; Squarcini et al., 2013), contracciones voluntarias máximas de los flexores del codo (Gauthier, Daenne, Gentil y Hoecke, 1997; Souissi et al., 2013) y del aductor del dedo pulgar (Martín, Carpentier, Guissard, Van Hoecke y Duchateau, 1999), fuerza máxima de extensores de rodilla (Pereira et al., 2011) y zona lumbar (Squarcini et al., 2013) y potencia máxima de extensores de rodilla (Pereira et al., 2011), con porcentajes de cambio y tamaños del efecto comprendidos entre 8.9% - 24.0% y 3.5 - 4.11 respectivamente. Sin embargo, dentro del grupo de ejercicios isométricos, cabe destacar el estudio de Gnette, Gondin, Martin y Pérot, (2005) en el que, a diferencia de los estudios citados anteriormente, en la contracción voluntaria máxima del tríceps sural se produce una disminución del rendimiento por la tarde respecto a la mañana (-7.0±14.7%), que podría deberse a que este músculo principalmente es solicitado a lo largo del día, ya que juega un papel importante en la marcha y desplazamiento corporal, lo que podría

conducir a la fatiga. Parece necesario por tanto cuantificar la actividad física diaria del sujeto entre las sesiones experimentales, sobre todo en estudios donde se impliquen grupos musculares posturales.

2) Ejercicios isoinerciales: con un 67% de artículos revisados que constatan este efecto del ritmo circadiano, entre los que se mide la fuerza máxima en sentadilla y press banca (Mora-Rodríguez et al., 2012), velocidad media propulsiva en sentadilla (Mora-Rodríguez et al., 2014; Pallarés et al., 2015) y press banca (Mora-Rodríguez et al., 2014; Pallarés et al., 2014, 2015) ante distintas cargas y altura de vuelo en salto CMJ (Pallarés et al., 2014), con porcentajes de cambio del valor menor-mayor de entre 2.5-11.5% y 0.58-2.10 respectivamente.

3) Ejercicios isocinéticos: con un 57% de artículos revisados que constatan este efecto de la hora del día, entre los que se mide la contracción voluntaria máxima de extensores de rodilla (Nicolas, Gauthier, Bessot, Moussay y Davenne, 2005; Squarcini et al., 2013), torque de máxima flexión en hombres (Sinclair, Wright, Hurst, Taylor y Atkins, 2013; Wyse, Mercer y Gleeson, 1994) y en mujeres (Sinclair et al., 2013) y torque de máxima extensión (Wyse et al., 1994), con porcentajes de cambio del valor menor-mayor de entre 7.7-11.6% y 0.26-2.36. Sin embargo, es interesante anotar que Sinclair et al. (2013) en su estudio difiere con los estudios citados anteriormente dentro de este grupo de ejercicios, afirmando que el torque de máxima extensión fue mayor a las 9:00 h y 14:00 h respecto a las 18:00 h, que al igual que ocurre en Guette et al. (2005) con el tríceps sural, podría deberse a los extensores de rodillas son músculos posturales los cuales son solicitados a lo largo del día, pudiendo provocar fatiga.

Todos estos resultados constatan que la realización del entrenamiento por la tarde es más conveniente al darse un mayor rendimiento motor en cualquier tipo de contracción muscular y en la gran mayoría de grupos musculares que por la mañana.

#### **4.2. AYUDAS ERGOGÉNICAS.**

Con respecto a este rendimiento neuromuscular en función del horario de realización del ejercicio, existen ciertas ayudas ergogénicas, especialmente estimulantes, que pueden disminuir estas diferencias de rendimiento neuromuscular por la mañana respecto a la tarde. De este modo Pallarés et al. (2015) afirman que una ingesta de 180 mg de pseudoefedrina por kilo de peso corporal, la máxima dosis terapéutica y legal de esta sustancia, mejora la velocidad media propulsiva en ejercicios para cargas ligeras (25% y 50%) en el tren inferior

del cuerpo por la mañana, sugiriendo que cuanto mayor es la masa muscular reclutada (parte inferior del cuerpo frente a la superior) mayores posibilidades de efecto de la pseudoefedrina para aumentar la velocidad de contracción (Mora-Rodríguez et al., 2014; Pallares et al., 2015). Por otro lado, esta ingesta de pseudoefedrina conlleva la aparición de diversos efectos secundarios negativos (ansiedad y taquicardia) y un aumento de posibilidad de dar positivo en dopaje, existiendo otras sustancias estimulantes fuera de la lista de dopaje y con similares o incluso mayores efectos en el rendimiento neuromuscular como es la cafeína. Mora-Rodríguez et al. (2014), tras administrar 6mg/kilo de peso corporal de cafeína en pastillas, encontraron como la velocidad propulsiva media ante las cargas del 25%,50% y 75% de 1RM en sentadilla fue superior por la mañana en los sujetos que ingirieron cafeína respecto los que no consumieron (5.0% -8.0%), aunque no encontraron diferencias significativas entre los que ingirieron y no ingirieron cafeína por la tarde. Mora-Rodríguez et al. (2012) también mostraron como la ingesta de cafeína (3mg/kilo de peso corporal) por la mañana mejora tanto la fuerza como la potencia muscular respecto a los que no consumen, en sentadilla completa y press banca ante las cargas del 75% de 1RM y de 1m/s, sin embargo, estas diferencias de fuerza y potencia muscular no se encontraron entre los que consumieron cafeína y los que no en horario de tarde.

Estos datos sugieren que existen ciertas ayudas ergogénicas que pueden contrarrestar las diferencias de rendimiento que propicia el ritmo circadiano. Se hace necesario no obstante un estudio minucioso sobre los efectos individuales de cada una de estas sustancias ergogénicas que permita ofrecer un asesoramiento efectivo y responsable a los técnicos de los deportistas que han de tener un rendimiento neuromuscular óptimo durante las primeras horas de la mañana.

#### **4.3. TEMPERATURA CORPORAL.**

Del mismo modo que las ayudas ergogénicas, un cambio en la temperatura corporal también parece modificar el rendimiento neuromuscular. En una situación termoneutral (20°-22°C), la contractilidad muscular aumenta de forma progresiva desde la mañana hasta la tarde, aumentando consecuentemente el rendimiento neuromuscular, con valores más altos por la tarde respecto a la mañana. Según Souissi, Gauthier, Sesboüé, Larue y Davenne (2004) estos ritmos de rendimiento neuromuscular son paralelos a la temperatura central del cuerpo, alcanzando la acrofase en horario vespertino. Sin embargo, se ha visto en ejercicios de corta duración que en entornos cálidos la contractibilidad del músculo mejora solamente por la

mañana, aumentando a su vez tanto la fuerza como la potencia muscular. En este contexto, Racinais et al. (2005a) muestran como la contractibilidad muscular durante la contracción voluntaria máxima fue mayor en el clima cálido y húmedo A.M. que en clima neutral A.M. con diferencias de un 23.7%, siendo más sensible el calentamiento pasivo en horario matutino, cuando las temperaturas corporales estaban en sus niveles más bajos. Sin embargo, la fuerza muscular no parece ser sensible a un calentamiento pasivo en horario vespertino, cuando la temperatura del cuerpo se encuentra en sus niveles más altos, no detectándose diferencias significativas en la contractibilidad muscular durante la contracción voluntaria máxima entre el clima cálido y húmedo P.M. y el clima neutral P.M. Otros estudios (Racinais, et al., 2006, 2010a) coinciden con lo dicho anteriormente, sugiriendo que la exposición a un ambiente cálido (>28°C) y húmedo a través de un calentamiento pasivo puede aumentar el rendimiento en ejercicios de corta duración solo por la mañana, cuando la temperatura corporal está en su nivel más bajo. Del mismo modo, Racinais y Oksa (2010b) demuestran como existe una relación positiva entre el rendimiento y la temperatura muscular, con una modificación del 2-5% en 1°C de temperatura muscular. Por otro lado, dejando de lado el calentamiento pasivo, otros autores (Souissi et al., 2010; Racinais, Blonc y Hue, 2005b) han aumentado la temperatura corporal de los sujetos de estudio a través de un calentamiento activo, produciendo mejoras de la contractibilidad muscular únicamente en horario matutino. En estos estudios, (Racinais, et al., 2005a, 2005b; Souissi et al., 2010) los autores observaron cómo a pesar de obtener mejoras en el rendimiento con este calentamiento corporal, no se obtuvieron los niveles de rendimiento motor encontrados por la tarde, a diferencia de Racinais, et al. (2004) donde los valores de altura de vuelo en el salto CMJ por la mañana en clima tropical (28.2°C) igualaron a los valores de la sesión de tarde. Parece por tanto probado que el calentamiento corporal, bien sea activo o pasivo, tiene efectos positivos para minimizar estas diferencias A.M. vs. P.M..

#### **4.4. EFECTO DEL SEXO DE LOS ATLETAS.**

Numerosos estudios han demostrado que en hombres el rendimiento neuromuscular es superior durante las jornadas vespertina y primeras horas de la noche, (Atkinson et al., 1993; Jasper et al., 2009; Mora-Rodríguez et al., 2012, 2014; Nicolas et al., 2005; Pallarés et al., 2015; Pereira et al., 2011; Souissi et al., 2013; Wyse et al., 1994). No obstante, aunque hasta la fecha existe un número muy reducido de estudios que analicen las fluctuaciones del rendimiento motor según la hora del día en mujeres, parece evidente que este biorritmo afecta

de forma diferente a ambos sexos. Así Bambaiechi et al. (2004), en un estudio en el que se miden los índices de torque máximo de flexo-extensión isocinética en mujeres, no encontraron ninguna diferencia significativa A.M. respecto P.M.. Igualmente, Phillips (1994) no encontró diferencias en mujeres en MVC de los extensores de las rodillas en su estudio sobre distintos intervalos de tiempo durante el día mientras que en los hombres si existieron diferencias significativas. Según Bambaiechi et al. (2004) este hallazgo puede estar relacionado con las diferencias en la masa muscular de ambos sexos, sugiriendo que a mayor masa muscular, mayor es la amplitud del ritmo circadiano. Sin embargo, estos resultados discrepan de los de Sinclair et al., (2013) en los que los valores de torque máximo de mujeres en flexión isocinética eran mayores P.M. que A.M. y los valores de torque máximo en extensión isocinética eran mayores A.M. respecto P.M. Esta controversia de resultados nos sugiere que son necesarias más investigaciones que analicen los efectos del ritmo circadiano sobre el rendimiento neuromuscular en mujeres.

#### **4.5. GRUPO ESPECIAL: CIEGOS.**

Pasando a un grupo de población especial como son los ciegos, independientemente del grupo muscular y velocidad de contracción, el período endógeno de los ritmos circadianos de fuerza de este grupo “va por libre”, (no están sincronizados a las señales de tiempo ambientales y presentan un ciclo superior a 24 h (Sack, Brandes, Kendall y Lewy, 2000)). De este modo, Squarcini et al. (2013) lo constatan en su estudio donde encontraron que la acrofase de fuerza se iba retrasando de un día a otro en las distintas sesiones del estudio. Según los autores, este efecto se debe a que la luz es el sincronizador principal del reloj biológico humano, careciendo los individuos ciegos de la percepción de luz por completo. Algunos profesionales, como atletas ciegos, no pueden sincronizar siempre la fase óptima con el momento de la competición, lo que puede perjudicar su rendimiento deportivo. Por lo tanto este funcionamiento libre de los ritmos circadianos en ciegos debe tenerse en cuenta y ser tratado en centros especializados de sincronización para mejorar tanto la calidad de vida como el rendimiento deportivo (Squarcini et al. 2013).

#### **4.6. CONCLUSIONES.**

Los principales hallazgos de esta revisión bibliográfica han sido los siguientes: i) de forma general, el rendimiento neuromuscular en ejercicios de corta duración se maximiza en

horarios vespertinos respecto a los matutinos; ii) no todos los tipos de ejercicio (isométrico, isocinético e isoinercial), ni todos los grupos musculares tienen mayor rendimiento neuromuscular a la misma hora del día; iii) el aumento de la temperatura corporal (tanto por calentamiento activo como por calentamiento pasivo) y/o la ingesta de ciertas ayudas ergogénicas pueden contrarrestar la incidencia de los ritmos circadianos sobre el rendimiento deportivo en A.M.; iv) los efectos del ritmo circadiano sobre el rendimiento motor en mujeres no parece estar tan evidente; v) el ritmo circadiano en el rendimiento neuromuscular en ciegos es de funcionamiento libre.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Atkinson, G., Coldwells, A., Reilly, T. y Waterhouse, J. (1993). A comparison of circadian rhythms in work performance between physically active and inactive subjects. *Ergonomics*, 36(1-3), 273-281.
- Atkinson, G. y Reilly, T. (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine*, 21(4), 292-312.
- Atkinson, G. y Spiers, L. (1998). Diurnal variations in tennis serve. *Perceptual and Motor Skills*, 86(3c), 1335-8.
- Atkinson, G., Todd, C., Reilly, T. y Waterhouse, J. (2005). Diurnal variation in cycling performance: influence of warm-up. *Journal of Sports Sciences*, 23(3), 321-329.
- Bambaeichi, E., Reilly, T., Cable, N. T. y Giacomoni, M. (2004). The isolated and combined effects of menstrual cycle phase and time-of-day on muscle strength of eumenorrheic females. *Chronobiology International*, 21(4-5), 645-660.
- Bessot, N., Moussay, S., Clarys, J. P., Gauthier, A., Sesboüé, B. y Davenne, D. (2007). The influence of circadian rhythm on muscle activity and efficient force production during cycling at different pedal rates. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 17, 176-183.
- Buijs, R. M., Van Eden, C. G., Goncharuk, V. D. y Kalsbeek, A. (2003). The biological clock tunes the organs of the body: timing by hormones and the autonomic nervous system. *Journal of Endocrinology*, 117, 17-26.

- Bye, C., Hill, H. M., Hughes, D. T. D., y Peck, A. W. (1975). A comparison of plasma levels of L (+) pseudoephedrine following different formulations, and their relation to cardiovascular and subjective effects in man. *European Journal of Clinical Pharmacology*, 8(1), 47-53.
- Cappaert, T. A. (1999). Review: Time of day effect on athletic performance: an update. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13, 412-421.
- Decostre, V., Bianco, P., Lombardi, V., y 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.
- Drust, B., Waterhouse, J., Atkinson, G., Edwards, B. y Reilly, T. (2005). Circadian rhythm in sports performance- An update. *Chronobiology International*, 22, 21-44.
- Gauthier, A., Davenne, D., Gentil, C., y Hoecke, J. V. (1997). Circadian Rhythm in the Torque Developed by Elbow Flexors During Isometric Contraction Effect of Sampling Schedules. *Chronobiology International*, 14(3), 287-294.
- Guette, M., Gondin, J., Martin, A. y Pérot, C. (2005). J. Plantar flexion torque as a function of time of day. *International Journal Sports Medical*, 26, 1-7.
- Hastings, M. H. y Herzog, E. D. (2004). Clock genes, oscillators, and cellular networks in the suprachiasmatic nuclei. *Journal of Biological Rhythms*, 19, 400-413.
- Jasper, I., Häußler, A., Baur, B., Marquardt, C., y Hermsdörfer, J. (2009). Circadian variations in the kinematics of handwriting and grip strength. *Chronobiology International*, 26(3), 576-594.
- Kline, C. E., Durstine, J. L., Davis, J. M., Moore, T. A., Devlin, T. M., Zielinski, M. R. y Youngstedt, S. D. (2007). Circadian variation in swim performance. *Journal of Applied Physiology*, 102(2), 641-649.
- Martin, A., Carpentier, A., Guissard, N., Van Hoecke, J., y Duchateau, J. (1999). Effect of time of day on force variation in a human muscle. *Muscle & Nerve*, 22(10), 1380-1387.

- McCormick, M. C., Kilgore, L. O. N., Watson, H., y Baker, J. S. (2012). Perceptual feeling and time-of-day effects on high intensity exercise performance. *Journal of Biology of Exercise*, 8(2).
- Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Ortega, J. F., y Fernández-Elías, V. E. (2012). Caffeine ingestion reverses the circadian rhythm effects on neuromuscular performance in highly resistance-trained men. *PloS One*, 7(4), e33807.
- Mora-Rodríguez, R., Pallarés, J. G., López-Gullón, J. M., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E., y Ortega, J. F. (2014). Improvements on neuromuscular performance with caffeine ingestion depend on the time-of-day. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 18(3), 338-342.
- Moussay, S., Bessot, N., Gauthier, A., Larue, J., Sesboüe, B., y Davenne, D. (2003). Diurnal variations in cycling kinematics. *Chronobiology International*, 20(5), 879-892.
- Nicolas, A., Gauthier, A., Bessot, N., Moussay, S., y Davenne, D. (2005). Time-of-day effects on myoelectric and mechanical properties of muscle during maximal and prolonged isokinetic exercise. *Chronobiology International*, 22(6), 997-1011.
- Pallarés, J. G., Fernández-Elías, V. E., Ortega, J. F., Muñoz, G., Muñoz-Guerra, J. y Mora-Rodríguez, R. (2013). Neuromuscular Responses to Incremental Caffeine Doses: Performance and Side Effects. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 45(11), 2184-2192.
- Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Moreno, J., Fernández-Elías, V. E., Ortega, J. F. y Mora-Rodríguez, R. (2014). Circadian rhythm effects on neuromuscular and sprint swimming performance. *Biological Rhythm Research*, 45(1), 51-60.
- Pallarés, J. G., López-Samanes, Á., Fernández-Elías, V. E., Aguado-Jiménez, R., Ortega, J. F., Gómez, C., Ventura, R., Segura, J. y Mora-Rodríguez, R. (2015). Pseudoephedrine and circadian rhythm interaction on neuromuscular performance. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*.
- Pereira, R., Machado, M., Ribeiro, W., Russo, A. K., de Paula, A., y Lazo-Osorio, R. A. (2011). Variation of explosive force at different times of day. *Biology of Sport*, 28(1), 3.

- Phillips, B. (1994). Circadian rhythms and muscle strength performance. *Track Technique*, 126, 4026-4029.
- Racinais, S., Hue, O., Hertogh, C., Damiani, M., y Blonc, S. (2004). Time-of-day effects in maximal anaerobic leg exercise in tropical environment: a first approach. *International Journal of Sports Medicine*, 25(3), 186-190.
- Racinais, S., Blonc, S., Jonville, S., y Hue, O. (2005a). Time of day influences the environmental effects on muscle force and contractility. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(2), 256-61.
- Racinais, S., Blonc, S., y Hue, O. (2005b). Effects of active warm-up and diurnal increase in temperature on muscular power. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37(12), 2134.
- Racinais, S., Chamari, K., Hachana, Y., Bartagi, Z., Blonc, S., y Hue, O. (2006). Effect of an acute hot and dry exposure in moderately warm and humid environment on muscle performance at different times of day. *International Journal of Sports Medicine*, 27(1), 49-54.
- Racinais, S. (2010a). Different effects of heat exposure upon exercise performance in the morning and afternoon. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(s3), 80-89.
- Racinais, S., y Oksa, J. (2010b). Temperature and neuromuscular function. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 20(s3), 1-18.
- Redlin, U. y Mrosovsky, N. (1997). Exercise and human circadian rhythms: what we know and what we need to know. *Chronobiology International*, 14(2), 221-229.
- Reilly, T. (1990). Human circadian rhythms and exercise. *Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 18(3), 165-180.
- Reilly, T., Atkinson, G., Edwards, B., Waterhouse, J., Farrelly, K., y Fairhurst, E. (2007). Diurnal variation in temperature, mental and physical performance, and tasks specifically related to football (soccer). *Chronobiology International*, 24(3), 507-519.
- Reilly, T. y Waterhouse, J. (2009). Sports performance: is there evidence that the body clock plays a role?. *European Journal of Applied Physiology*, 106(3), 321-332.

- Sack, R. L., Brandes, R. W., Kendall, A. R., y Lewy, A. J. (2000). Entrainment of free-running circadian rhythms by melatonin in blind people. *New England Journal of Medicine*, 343(15), 1070-1077.
- Sánchez-Medina, L., González-Badillo, J. J., Pérez, C. E. y Pallarés, J. G. (2013). Velocity- and Power-Load Relationships of the Bench Pull vs. Bench Press Exercises. *International Journal of Sports Medicine*, 35(3). 209-216.
- Sedliak, M., Finni, T., Cheng, S., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2007). Effect of time-of-day-specific strength training on serum hormone concentrations and isometric strength in men. *Chronobiology International*, 24(6), 1159-1177.
- Sedliak, M., Finni, T., Peltonen, J., y Häkkinen, K. (2008). Effect of time-of-day-specific strength training on maximum strength and EMG activity of the leg extensors in men. *Journal of Sports Sciences*, 26(10), 1005-1014.
- Simmonds, M. J., Minahan, C. L., y Sabapathy, S. (2010). Caffeine improves supramaximal cycling but not the rate of anaerobic energy release. *European Journal of Applied Physiology*, 109(2), 287-295.
- Sinclair, J., Wright, J., Hurst, H. T., Taylor, P. J., y Atkins, S. (2013). The influence of circadian rhythms on peak isokinetic force of quadriceps and hamstring muscles. *Isokinetics and Exercise Science*, 21(4), 279-284.
- Souissi, N., Gauthier, A., Sesboüé, B., Larue, J., y Davenne, D. (2004). Circadian rhythms in two types of anaerobic cycle leg exercise: force-velocity and 30-s Wingate tests. *International Journal of Sports Medicine*, 25(1), 14-19.
- Souissi, N., Bessot, N., Chamari, K., Gauthier, A., Sesboüé, B., y 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.
- Souissi, N., Chtourou, H., Aloui, A., Hammouda, O., Dogui, M., Chaouachi, A., y Chamari, K. (2013). Effects of time-of-day and partial sleep deprivation on short-term maximal

- performances of judo competitors. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 27(9), 2473-2480.
- Squarcini, C. F. R., Pires, M. L. N., Lopes, C., Benedito-Silva, A. A., Esteves, A. M., Cornelissen-Guillaume, G., Matarazzo, C, García, D., da Silva, M. S., Tufik, S. y de Mello, M. T. (2013). Free-running circadian rhythms of muscle strength, reaction time, and body temperature in totally blind people. *European Journal of Applied Physiology*, 113(1), 157-165.
- Starkie, R. L., Hargreaves, M., Lambert, D. L., Proietto, J. y Febbraio, M. A. (1999). Effect of temperature on muscle metabolism during submaximal exercise in humans. *Experimental physiology*, 84(4), 775-784.
- Teo, W., McGuigan, M. R., y Newton, M. J. (2011). The effects of circadian rhythmicity of salivary cortisol and testosterone on maximal isometric force, maximal dynamic force, and power output. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6), 1538-1545.
- Waterhouse, J., Drust, B., Weinert, D., Edwards, B., Gregson, W., Atkinson, G., Kao, S., Aizawa, S. y Reilly, T. (2005). The circadian rhythm of core temperature: origin and some implications for exercise performance. *Chronobiology International*, 22(2), 207-225.
- Winget, C. M., DeRoshia, C. W. y Holley, D. C. (1985). Circadian rhythms and athletic performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 17, 498-516.
- Wyse, J. P., Mercer, T. H., y Gleeson, N. P. (1994). Time-of-day dependence of isokinetic leg strength and associated interday variability. *British Journal of Sports Medicine*, 28(3), 167-170.