

Revisión y Aplicaciones Prácticas

SISTEMA CIRCADIANO (CS) Y ENTRENAMIENTO NEUROMUSCULAR

CIRCADIAN SYSTEM (CS) AND NEUROMUSCULAR TRAINING

Rafael Martín Acero¹ y Dan Río Rodríguez²

¹Facultad de Ciencias del Deporte y la Educación Física, Universidad de Coruña (UDC)

²CDUTCM-Keele Joint Health (GB) and Medical Sciences Institute Chengdu (China)

RESUMEN

Este artículo aborda la interacción entre el sistema circadiano (CS) y el entrenamiento neuromuscular, destacando cómo los ritmos biológicos influyen en la adaptación y el rendimiento físico. Se analiza la cronobiología como disciplina emergente que estudia los ritmos internos del organismo, sincronizados principalmente por la luz, y su impacto en variables fisiológicas como la temperatura corporal, la secreción hormonal y la activación muscular. Se presentan evidencias sobre la existencia de relojes biológicos centrales y periféricos, incluyendo relojes musculares que responden a estímulos internos y externos, y que pueden anticipar esfuerzos mediante la repetición sistemática de sesiones de entrenamiento. El artículo introduce los conceptos de chronoejercicio y cronosesión, proponiendo que la regularidad en los horarios de entrenamiento puede mejorar la sincronización circadiana y optimizar la respuesta neuromuscular. Se discuten las implicaciones prácticas para la programación del entrenamiento, considerando el cronotipo individual, el momento del día, la alternancia trabajo/recuperación y la interacción con otros factores como la nutrición, el sueño y el estrés. Finalmente, se ofrecen recomendaciones para mejorar el rendimiento deportivo mediante la alineación de los estímulos de entrenamiento con los ritmos biológicos personales, destacando la importancia de la organización temporal en la planificación de cargas y sesiones.

Palabras Clave: Sistema circadiano (CS), relojes biológicos, entrenamiento neuromuscular, chronoejercicio, cronotipo

ABSTRACT

This article explores the interaction between the circadian system (CS) and neuromuscular training, emphasizing how biological rhythms influence physical adaptation and performance. It examines chronobiology as an emerging discipline that studies the body's internal rhythms, primarily synchronized by light, and their impact on physiological variables such as body temperature, hormonal secretion, and muscle activation. Evidence is presented on the existence of central and peripheral biological clocks, including muscle clocks that respond to internal and external stimuli and can anticipate effort through systematic repetition of training sessions. The article introduces the concepts of chronoexercise and chronosession, suggesting that regular training schedules can enhance circadian synchronization and optimize neuromuscular responses. Practical implications for training programming are discussed, considering individual chronotype, time of day, work/recovery alternation, and interaction with other factors such as nutrition, sleep, and stress. Finally, recommendations are offered to improve athletic performance by aligning training stimuli with personal biological

rhythms, highlighting the importance of temporal organization in load and session planning.

Keywords: Circadian system (CS), biological clocks, neuromuscular training, chronoexercise, chronotype

INTRODUCCIÓN

Entrenadores y deportistas desde siempre fueron conscientes y gestionaron la influencia en el rendimiento de factores del ambiente como las estaciones anuales, la temperatura, la hora del día, la exposición a la luz y al sol, o las horas de sueño de los deportistas. En las últimas décadas se comenzó a disponer de conocimiento científico que, progresivamente, irá permitiendo avanzar en soluciones cada vez más precisas para programar entrenamientos con aprovechamiento del mejor ajuste posible con las señales ambientales. Como en otros campos de aplicación de la fisiología al entrenamiento, primero se han producido más investigaciones en relación a los efectos sobre la resistencia cardiovascular que sobre otras variables, en este ensayo se hace una aproximación a las posibles cuestiones a tener en consideración respecto y a los ritmos biológicos y el entrenamiento neuromuscular.

Como disciplina científica la cronobiología humana tiene muy pocas décadas de desarrollo, aunque sus antecedentes datan de algunas primeras observaciones entre los siglos XVI y XVIII, como las de Dorts de Mairan o Linneo sobre el carácter cíclico diario observado en algunas plantas que parecían tener capacidad de medir el tiempo transcurrido y de anticipar la luz del día o la oscuridad de la noche. Con humanos se conoce que entorno al inicio del S.XVII Sanctorius observó que su propio peso era mayor de noche; Virey, hasta la primera mitad del XIX, investigó cambios temporales en la salud y la enfermedad de humanos. A mediados del S. XX es cuando se realizaron las primeras investigaciones en la cronobiología con animales, como las del equipo de Von Frisch (Nobel de Fisiología) y, sobre todo las de Pittendrihg, que describió los principios de la actual cronobiología científica.

Es la cronobiología la disciplina que tiene por objeto de estudio las respuestas biológicas del organismo ante eventos temporales organizados en ritmos o ciclos biológicos que se repiten secuencialmente en intervalos predecibles (Martínez-Carpio y Corominas, 2004; Smolensky y Peppas, 2007), ejemplo son los ciclos estacionales, la alternancia día/noche, o la temperatura corporal. Todo el desarrollo biológico se ha producido evolutivamente y también se produce ontogenéticamente por influencia del ambiente con contextos de carácter cíclico, con mayor o menor duración como, por ejemplo, un año (ciclos circanuales), entorno a un mes (circalunares), una semana (circaseptanos), o un día (circadianos), aunque sincronizados por la luz (Tabla 1).

Tabla 1. Ritmos estructurados por las respuestas biológicas del organismo (Adan, 1995; Mauk y Buonomano, 2004; Volpato y Trajano, 2005; Buhusi y Meck, 2005; Smolensky y Peppas, 2007)

Frecuencia	Duración periodo	Ejemplos
Baja	De 28 horas (h) a 6 días	- Procesos metabólicos
Media	En torno a 24 horas (+-)	- Temperatura corporal - Ciclo despertido/dormido - Fases del sueño - Secrección de cortisol - Secrección de melatonina
Alta	De 1 milisegundo (ms), pasando por segundos (s), hasta 20-30 minutos (m)	De 1 milisegundo a 10 segundos: - Actividad eléctrica cortical (ms - s) - Control motor (ms) - Reproducir música (ms) De 30 segundos a 20 minutos: - Actividad cardíaca (s) - Actividad respiratoria (s) - Oscilaciones bioquímicas (s - m) - Toma de decisiones (s - m) - Aprendizaje (s - m)

Para el interés de ejercicio sistemático y del entrenamiento de estimulación neuromuscular, además del tiempo social (organización), hay que tener presente que los ciclos rítmicos más influyentes son de carácter interno (tiempo interno y

tiempo metabólico) ya que, aunque es la variable ambiente la que los ajusta y reajusta (tiempo ambiental), si alguna de estas (luminosidad; temperatura; etc.) permaneciese constante, los ritmos internos oscilatorios seguirían su actividad cíclicamente. En un reciente estudio se corroboraron hallazgos anteriores para mostrar las dos propiedades principales de los ritmos biológicos: se producen por un reloj interno y este reloj tiene la capacidad de utilizar señales externas que se repiten en ciclos de aproximadamente 24 horas, logrando sincronizarse con ellas (Bonmati-Carrion et al., 2020)

Los ritmos circadianos de la fisiología humana son del mayor interés para el ejercicio y entrenamiento programado, son un producto evolutivo de la adaptación de los genes y de los individuos a los cambios cílicos de la luz natural, consecuentes con el giro diario del globo terráqueo.

FISIOLOGÍA PREDICTIVA

El organismo humano tiene que prever para ajustarse anticipadamente al cambio de, por ejemplo, la luminosidad o la temperatura, esta capacidad de prepararse para adaptarse al ciclo externo regular correspondiente ha provocado una "fisiología predictiva" (Rol de Lama, 2022) imprescindible para la supervivencia y las funciones vitales. Pero, los ritmos biológicos no son solo una mera reacción al estímulo ambiental, también son mecanismos internos, ritmos predictivos que se anticipan, pero sincronizados por la luz externa, para preparar el organismo antes que se produzca el cambio, preparando según las horas del día, por ejemplo, la atención, la capacidad de generar fuerza, o la inducción del sueño. Estas situaciones han promovido evolutivamente la existencia de un mecanismo biológico principal (Stephan y Zucker, 1972) de cuento de iteración de señales, hasta mostrar patrones.

Los mecanismos temporales o relojes biológicos más vitales para el desarrollo de la vida humana son aquellos que van con cada persona, reciben y traducen señales o estímulos internos o ambientales que acompañan las oscilaciones de las células, tejidos y órganos. Esta frecuencia iterativa promueve el cuento rítmico de la transferencia en señales bioquímicas instauradas y encriptadas en la estructura de neurotransmisores y hormonas, que inducen la actividad de células, órganos y sistemas. Después de entrenamientos regulares, se comprobó anticipación muscular (modelo animal) antes de las siguientes sesiones, al registrar que el pico de expresión proteica, crucial para la síntesis de ATP, alcanzó valores suficientes para el esfuerzo a realizar posteriormente (Murphy et al., 2014).

Explica el NIH (*National Institute of Health, USA*) que en las investigaciones de los ritmos biológicos se controla el ambiente del sujeto al alterar los períodos de luz y oscuridad, después se buscan cambios en la actividad de los genes u otras señales moleculares.

La comprensión de lo que hace que funcionen los relojes biológicos puede mejorar las formas en que las personas se ajustan a los turnos de trabajo nocturnos, y por supuesto a los horarios de los entrenamientos. Saber más sobre los genes responsables de los ritmos circadianos ayudará a comprender mejor el cuerpo humano. También puede llevar a tratamientos para el desajuste horario, los trastornos de sueño, y otros problemas biológicos.

SISTEMA CIRCADIANO (CS)

En el ser humano el mecanismo principal de cuento reside en un área cerebral, el hipotálamo cerebral (Stephan y Zuckker, 1972), hoy es conocido que, como en otros organismos vivos, hay también mecanismos moleculares de cuento propios, químicos, hormonales o neuromusculares, armonizándose entre sí y con el mecanismo principal (Golombek et al., 2014).

El mecanismo o reloj principal en el cerebro es el crisol del tiempo biológico, dota la memoria de lo ya acontecido para poder anticipar desde el presente. La luz sincroniza los ritmos circadianos con el tiempo ambiental mediante la modulación de la entrada de la retina, que posee fotorreceptores circadianos (Berson et al., 2022), al marcapasos circadiano, mecanismo o reloj biológico principal, también denominado reloj maestro, que se alberga en el núcleo supraquiasmático (NSQ) del hipotálamo (Dunlap et al., 2004), muy cerca de donde se cruzan los nervios ópticos y tienen clara influencia en su cuento temporal el ciclo diario de las variaciones de la luz y de la oscuridad, , estos ciclos han evidenciado influencias fisiológicas y conductuales (Golombek et al., 2014) en las personas. Ajusta las señales interiores y las del medio ambiente, sincroniza a los demás relojes, más o menos distales, expresa ciertos genes, que se excitan o inhiben según la hora, dando lugar a proteínas (Figura 1) que aceleran o paran esa función de cuento (Schroder y Esser, 2013) conformando los ciclos biológicos más importantes en los seres humanos con una duración en torno a 24 horas (circadianos), como el

mantenimiento homeostático de la temperatura corporal, la regulación hormonal, los procesos celulares, el ciclo sueño/vigilia, la activación neural o los patrones de actividad.

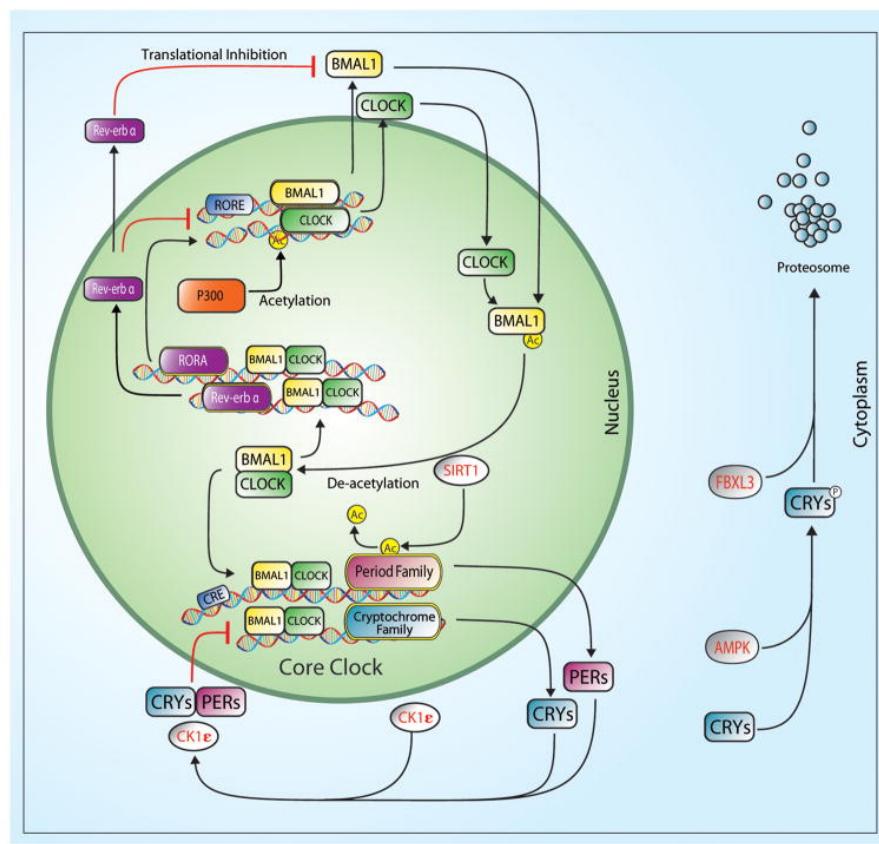


Figura 1. El reloj circadiano principal es un circuito de retroalimentación autorregulador, compuesto por factores de transcripción, genes diana y proteínas. (Fuente: Schroder, E. A., y Esser, K. A. (2013). Circadian rhythms, skeletal muscle molecular clocks and exercise. *Exercise and sport sciences reviews*, 41-4-)

Un segundo reloj cerebral complementa funciones del principal, está ubicado en la glándula pineal, situada detrás del núcleo supraquiasmático (NSQ), con estructuras celulares parecidas a las de la retina. Esta glándula produce melatonina (Pendragast et al., 2002) que, cuando aumenta induce al sueño y, cuando baja, al despertar. Además de ayudar a regular el sueño también lo hace sobre los ritmos circadianos y, por el contrario, si hay desregulación de los ritmos de melatonina se pueden producir trastornos circadianos o del sueño (Vasey, et al, 2021).

Otras muchas células, más o menos periféricas, tienen mecanismo o reloj biológico que, bajo la supervisión del cronómetro principal, dirigen la actividad de tejidos y órganos, por ejemplo, la corteza cerebral y el hipocampo, el corazón o el hígado. A través de genes, que portan la información molecular necesaria para sintetizar una serie de proteínas que actúan con precisión rítmica, la mayoría de las células están dotadas de mecanismos internos de cuento temporal, relojes moleculares, proteicos, celulares, metabólicos, musculares, genéticos o epigenéticos.

A partir de los estudios de Hall, Rosbasch y Young, premios Nobel de Medicina en 2017 sobre un gen que ayuda a controlar el reloj del cuerpo y que elabora una proteína que se acumula en las células durante la noche y que luego se descompone en el día, funciona como reloj molecular de los ritmos circadianos, se viene asumiendo que las oscilaciones endógenas son efecto de los continuos cambios intracelulares de la concentración de distintas proteínas y de su interacción, lo cual activa o desactiva algunos emparejamientos de genes en un continuo pendular que se concreta en ciclos circadianos (Huang, 2018).

El sistema circadiano (CS) está compuesto por todos los relojes biológicos (principales, periféricos, subcelulares, etc.) y precisa de su acompañamiento para facilitar la armonización funcional entre el tiempo biológico interno y el tiempo ambiental (Figura 2), esta fluctuación constituye una cadencia rítmica que cumple ciertas reglas para favorecer la fluidez

de las adaptaciones, de otro modo, si se abandonan las oscilaciones circadianas instauradas se altera la sinergia del sistema circadiano (CS) que, estructurado jerárquicamente (Albrecht, 2012; Honma, 2018) también modula los ritmos ultradianos e infradianos a través de enlaces bidireccionales, neuroquímicos y moleculares, entre los cronómetros circadianos y los de intervalo (Golombek et al., 2014).

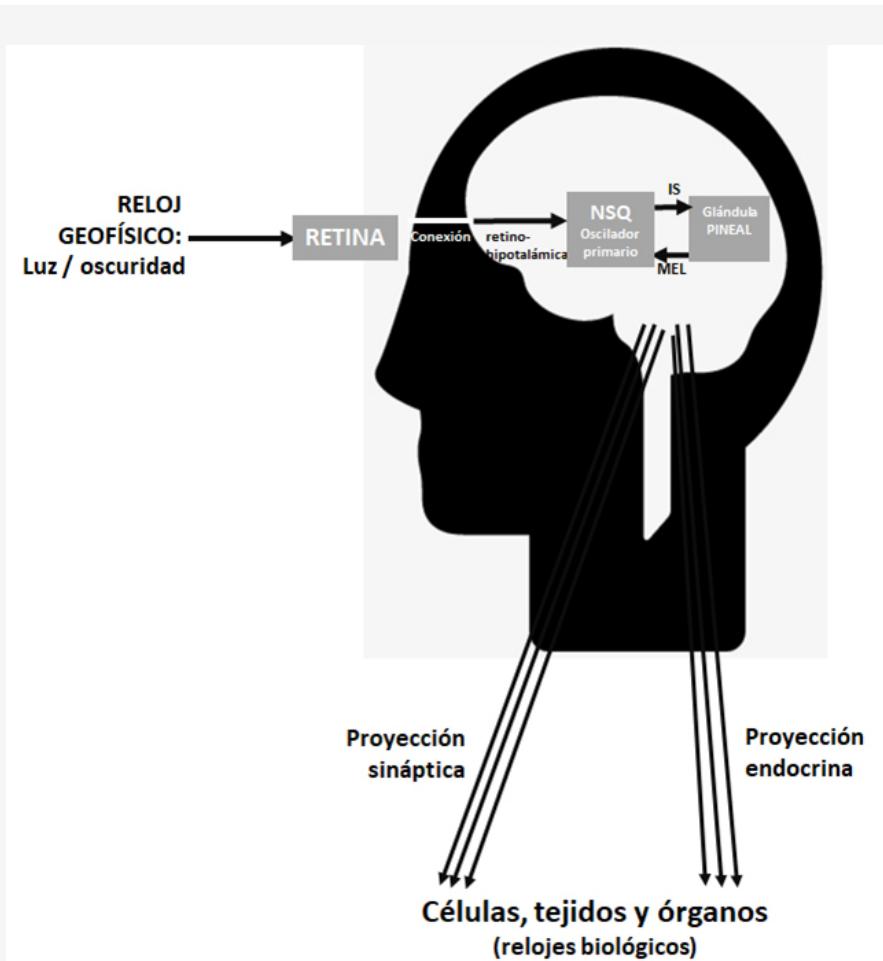


Figura 2. El mecanismo o reloj principal, situado en el hipotálamo (NSQ: núcleo supraquiasmático) armoniza todos los demás relojes biológicos de células, tejidos y órganos, cuyo cuento rítmico no influye en el principal (NSQ). La conexión entre NSQ y la glándula Pineal es a través de innervación sináptica (IS) y de la secreción de melatonina (MEL). El SNC proyecta impulsos eléctricos sinápticos y secreciones hormonales sobre los relojes periféricos.

La salud y el rendimiento se ven favorecidos por la estabilidad en los ciclos circadianos, que tienen algunas características y parámetros (**Figura 3**) a estudiar (Adán, 1995; Adán, 2004; Martínez-Carpio y Corominas, 2004; Smolensky y Peppas, 2007; Volpati y Trajano, 2005; Garaulet, 2017):

- **Periodo:** intervalo de tiempo necesario entre dos fases iguales para que una variable describa un ciclo completo.
- **Frecuencia:** inversa del periodo.
- **Mesor:** valor medio alrededor del cual varían los valores de una variable en un ciclo.
- **Amplitud:** cuanto aumenta o disminuye los valores del ritmo de una variable respecto a la media o *mesor*, es decir la diferencia entre el valor máximo o mínimo y el *mesor* de una variable en un ciclo. Los ritmos de alta frecuencia tienen una amplitud relativa mayor que los de frecuencia baja (Golombek et al., 2014).
- **Fase:** estado de la variable en un momento determinado del ciclo en relación a una escala de tiempo. Define el cronotipo (Figura 4) de cada persona y tiene gran dependencia genética.
- **Acrofase:** momento del ciclo de amplitud máxima, en el que la variable tiene su pico o valor máximo.
- **Batifase:** momento del ciclo en el que la variable tiene su valor mínimo.
- **Fragmentación del ritmo:** o rotura del ritmo fluido de los ciclos de una variable o de un conjunto de ellas, se registrarían cambios bruscos en los valores del ciclo circadiano.

- *Estabilidad del ritmo*: en la consecución de días e incluso semanas se establece una regularidad en el crono-perfil de la variable. Es lo contrario de la fragmentación del ritmo.

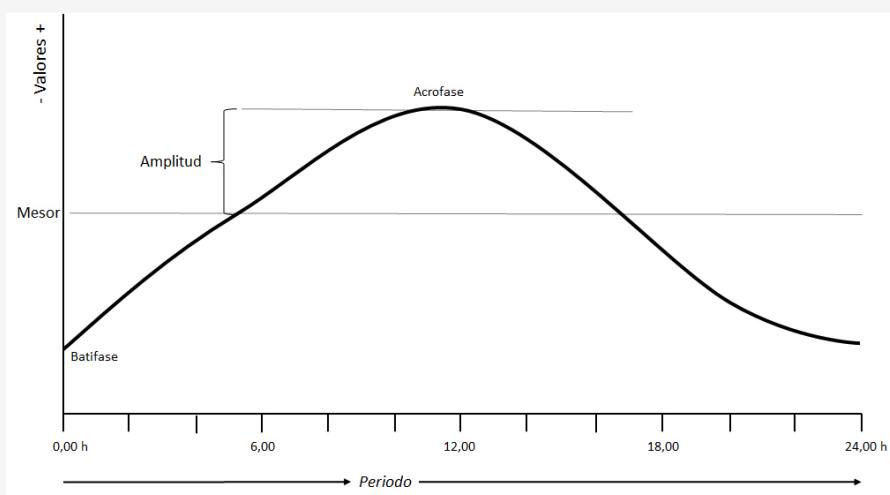


Figura 3. Ritmo biológico, algunas de sus características y parámetros principales
(Elaboración propia a partir de Garaulet, 2017).

Existen personas con ritmos circadianos endógenos diferentes, presentan los picos de sus ritmos circadianos endógenos o en horas más de mañana, o más de tarde, según la predisposición de la persona que, empíricamente, se las reconoce como de cronotipo matutino o vespertino. De un modo científico se puede determinar el cronotipo de una persona identificando su centro de sueño, que suele coincidir con el momento de mayor temperatura (acrofase) en la muñeca, que podría ser entorno a las dos de la mañana para un cronotipo matutino y a las cinco o seis de la mañana para uno vespertino (Garaulet, 2017), la acrofase de la melatonina para los matutinos estaría entorno a las ocho de la tarde y para los vespertinos hacia las seis de la mañana (Figura 4).

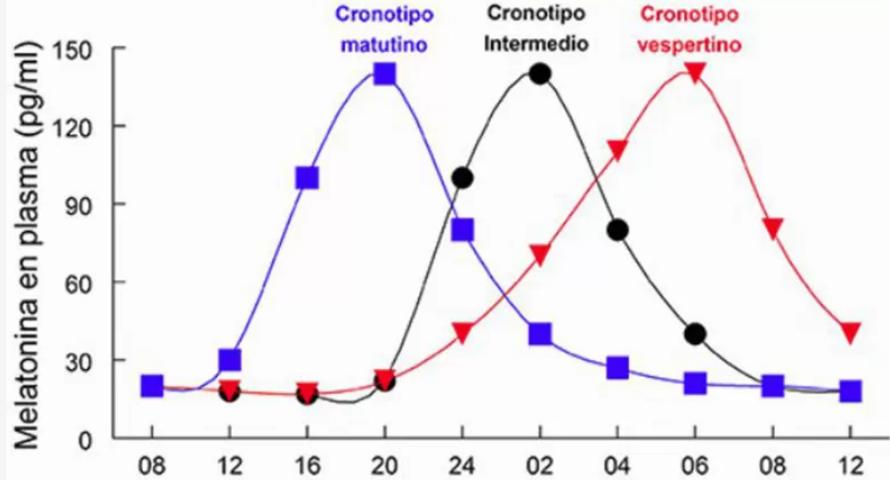


Figura 4. Patrones de cronotipo en personas que, con gran dependencia genética, pueden influir en el estilo de vida, la salud y el rendimiento. En el eje vertical se muestran los miligramos de melatonina en función de la hora del día (eje horizontal)
(Grafico tomado BBC: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-45005920>)

Un ritmo circadiano saludable (Garaulet, 2017) es aquel que tiende a tener una gran amplitud y es estable a lo largo de las jornadas diarias al no presentar fragmentación (Figura 4), en circunstancias contrarias se podría entender que el sujeto se encuentra en una circunstancia de cronodisrupción, algo contrario a la salud (Martínez-Carpio y Corominas, 2004) y al rendimiento. Dos ritmos están “en fase” cuando esas variables evolucionan en el tiempo de forma sincrónica y, están “fuera de fase” cuando sus acrofases ocurren en momentos bien distintos.

SISTEMA CIRCADIANO (CS) Y ENTRENAMIENTO

Se aceptan como factores determinantes en el rendimiento deportivo tanto los ciclos circadianos externos o ambientales, como los internos o fisiológicos y el estilo de vida psico-social (Reilly y Waterhouse, 2009), por tanto, es de interés para las Ciencias del Deporte y para los entrenadores conocer los mecanismos de los ritmos circadianos que puedan inducir y promover mejor las adaptaciones neuromusculares precisadas (Teo et al., 2011).

Complejidad heterocrónica armonizada

Es conocida la existencia de los relojes musculares (Zylka et al., 1998; Gabriel y Zierath, 2019) y más recientemente se ha descubierto que sus genes rítmicos dependen del tipo de fibra muscular (Dyar et al., 2015) que, como todo el sistema circadiano (CS), tienen el objetivo de ajustar el medio interno al externo, bajo el reloj principal o mecanismo director.

La mayoría de los relojes periféricos se sincronizan por el ciclo comer/ayunar (Garaulet, 2017), por ejemplo, hígado, páncreas, grasa, o aparato digestivo. Así tenemos que la producción de hormonas y enzimas digestivas presentan también oscilaciones circadianas con patrones y perfiles horarios estables, pero con diferentes acrofases de algunas hormonas en diferentes momentos, como es el caso de la insulina, que se muestra varias veces más eficaz por la mañana en su influencia sobre el incremento de disponibilidad de glucosa en los tejidos.

El cortisol (Figura 5) y la testosterona aumentan su activación en los seres humanos a primeras horas de la mañana.

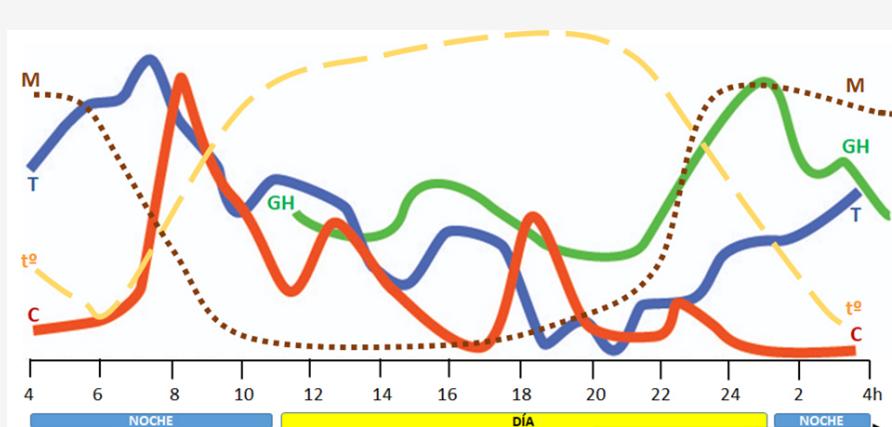


Figura 5. Ritmos circadianos de variables fisiológicas principales

El reloj director y la sincronización con los demás relojes son estimulados y se ajustan no solo por la ingesta de alimentos o por la luz, también por los horarios de actividad física que, cuando es ejercicio programado y según sean los objetivos de mejora tendrán horas del día más o menos favorecedoras, pero además son estímulo para la sincronización del propio (CS), con efectos diversos según el tipo de ejercicio y el carácter del esfuerzo realizado (Figura 6).

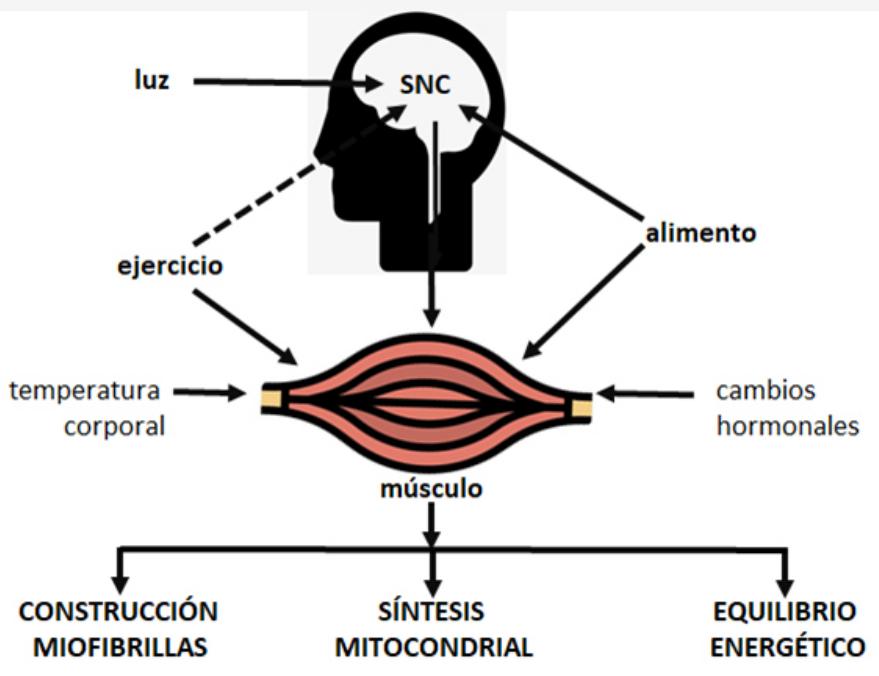


Figura 6. Los relojes centrales y periféricos pueden responder a señales o temporizadores fóticos (luz) y no fóticos (alimentación y ejercicio). Esta figura muestra la interacción entre los diferentes temporizadores y los relojes central y periférico. También sugiere que los relojes central y periféricoS pueden tener respuestas diferenciales dependiendo del temporizador presente. (A partir de: Schroder, E. A., y Esser, K. A. (2013). Circadian rhythms, skeletal muscle molecular clocks and exercise. *Exercise and sport sciences reviews*, 41-4-; y de: Dudek, M., Meng, Q. J. (2014). Running on time: the role of circadian clocks in the musculoskeletal system. *Biochemical journal*, 463(1), 1-8)

Los relojes moleculares periféricos (músculo esquelético, hígado, tejido adiposo) dan lugar a ritmos en el metabolismo de los macronutrientes, la regulación del apetito y los componentes del equilibrio energético; el horario de las comidas es relevante para el metabolismo y para la salud, resultando que la tasa de termogénesis muestra una variabilidad temporal al ser parte de la regulación circadiana, lo cual conviene tenerlo muy presente cuando los deportistas realicen alguna práctica que conlleve ayuno (Smith y Betts, 2022).

En ausencia de los ciclos de ingesta/ayuno, los relojes del hígado no son suficientes para regular la glucosa hepática, pero, con el ritmo de alimentación estable si es funcionalmente suficiente el reloj hepático para impulsar la homeostasis temporal de los carbohidratos (Crego et al., 2021). Los relojes moleculares cerebrales, hepáticos, en tejido adiposo, páncreas y músculo esquelético contribuyen a la homeostasis de la glucosa (Smith et al., 2022).

El enorme número de relojes biológicos en su actividad constante presentan gran complejidad y acumulan muchos períodos y fases temporales de duraciones diversas y, en no pocas ocasiones, bien diferentes, por tanto, hay que asumir la heterocronicidad de estas secuencias temporales que constituyen el (CS) en su continuo acoplamiento entre señales internas y externas, siendo el ejercicio sistemático de entrenamiento un lugar/tiempo de encuentro de múltiples de estas señales que, estando bien sincronizadas, favorecen la armonización y el ajuste entre ellas y también, en consecuencia, la adaptación del organismo a los objetivos de su acción.

La hora de entrenar

Aún hay insuficiente investigación sobre programas de entrenamiento con humanos bien controlados y sus efectos bien identificados sobre el (CS). Hay más estudios sobre las respuestas a programas de ejercicio de esfuerzo mantenido o intervalado de resistencia aeróbica, por ejemplo se han comunicado (Rubio-Sastre et al., 2014) el efecto de correr 45 m, durante 7 días, en sesiones o matutinas o vespertinas, comprobando que las de la tarde/noche podrían no ser tan beneficiosas como las de la mañana (Figura 7), ya que las vespertinas provocaron un retraso temporal, tanto de la acrofase de la temperatura corporal, como del centro de sueño (pasando de las 4 a las 7 de la mañana). Quienes entrenaron a las 9 de la mañana presentaron, en el ritmo biológico circadiano registrado, mayor amplitud y menor fragmentación que el grupo que entrenó a las 21 horas o, incluso, que el grupo control (Figura 7, gráfico superior).

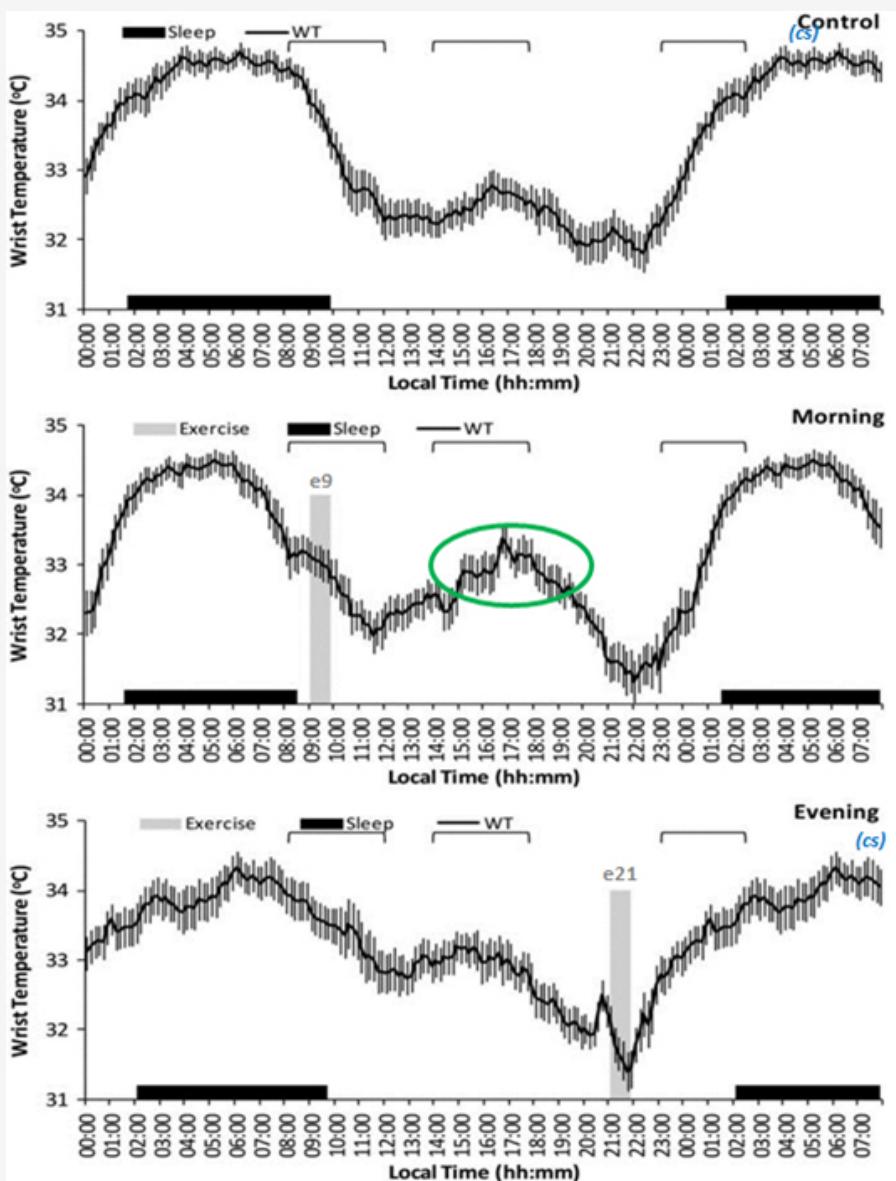


Figura 7. Ritmos circadianos de variables fisiológicas principales. Tras entrenamientos, de incidencia principal aeróbica a las 9 h de la mañana (e9) mejoró el ritmo circadiano de la temperatura corporal (gráfico del centro). Entrenando a las 21 h de la tarde/noche (e21), empeoraron (gráfico inferior). En el gráfico superior está la representación del grupo control. Se ha añadido indicadores del momento de entrenamiento y del centro de sueño (cs). (Tomada de: Rubio-Sastre P, Gómez-Abellán P, Martínez-Nicolás JM, Ordovás JM, Madrid JA, Garaulet M. Evening physical activity alters wrist temperature circadian rhythmicity. Chronobiol Int. 2014 Mar;31(2): 276-82.)

Sin embargo, los resultados de la mayoría de las investigaciones realizadas con ejercicios muy breves o breves, intensos y con expresión de valores elevados de fuerza y potencia muscular (Küüsmaa et al., 2016) han llevado a la tendencia, también corroborada en experiencias prácticas, de que entre el inicio (16 h) y el final de la tarde (20 h) se produce el pico de rendimiento coincidiendo bastante con el pico en la temperatura corporal (Kline et al., 2007; Thun et al., 2015) que incrementa el metabolismo energético, favorece la formación de los puentes actomiosínicos, la coordinación intramuscular e intermuscular (Teo et al., 2011), la potencia y la fuerza (Zhang et al., 2009), también la excéntrica (Malhotra et al., 2014). Al final de la tarde también se ha determinado el pico de la función mitocondrial (Gabriel y Zierath, 2019). Aún no hay evidencia sobre cuánto influyen las oscilaciones hormonales diarias en el rendimiento neuromuscular (Teo et al., 2011; West et al., 2010).

Las respuestas de reacción y la velocidad de conducción nerviosa también mejoran con el aumento de la temperatura corporal, por otro lado, la memoria a corto plazo, la atención y la concentración, y **los dominios cognitivos** han mostrado un rendimiento mayor en torno al mediodía (Vitošević, 2017)

La cantidad de Testosterona (T) y de hormona del crecimiento (HGH) liberadas por el entrenamiento de fuerza tienen relación con la intensidad de ejecución del ejercicio y con la cantidad de masa muscular implicada, por ejemplo, un ejercicio como la sentadilla profunda (*squat*) implica a mucha masa muscular y permite alta intensidad. La T liberada al torrente sanguíneo temporiza a los tejidos musculares respecto a la hora a la que se realiza ese ejercicio y sesión de entrenamiento (De Souza et al., 2007; Fyfe et al., 2014; Carter y Greenwood, 2014; Gomes et al., 2019).

De ser necesario entrenar estímulos neuromusculares por la mañana se puede mitigar la diferencia respecto a los ritmos circadianos favorables en la tarde a través de sesiones repetidas en el mismo horario (Hayes et al., 2010), incluso hay investigaciones que han comunicado resultados que sugieren que entrenar, a una hora de mañana o de tarde, la fuerza y la potencia en esa hora muestran mejoras, pudiendo entenderse que existe una especificidad temporal en el entrenamiento de fuerza (Souissi et al., 2002), sin depender del ciclo circadiano de la T ni del C (Teo et al., 2011), en todo caso también es conocido que una puesta en acción previa que eleve la temperatura corporal disminuirá la perdida de rendimiento neuromuscular, por ejemplo, de la capacidad de salto (Taylor et al 2011).

Con una muestra de niños, el mejor rendimiento se producía a la misma hora a la que solían entrenar la fuerza (Souissi et al., 2012), ocurre lo mismo cuando el horario de entrenamiento y de competición coinciden (Murphy et al., 2014).

Parece que las personas con cronotipo extremo matutino o vespertino tienden a rendir mejor cerca de su pico circadiano de rendimiento, aunque conviene ser prudentes ya que algunos de los procedimientos para identificar el cronotipo están aún en discusión (Küüsmaa et al., 2015). El cronotipo individual (Figura 4) vespertino parece ser el más afectado si entrena fuera de su horario óptimo (Ayala et al., 2021). Los resultados de investigaciones de Facer-Childs y Brandstaetter (2015), coincidiendo con McCarthy et al (2007) y Miller et al. (2007), informan que el tiempo transcurrido desde el despertar hasta el pico de rendimiento individual es mejor predictor que la hora del día. **También se han registrado grandes variaciones significativas de rendimiento individual en el transcurso de un día, por lo cual, estimar adecuadamente el mejor desempeño personal de un deportista, requiere la consideración del cronotipo circadiano y, al menos, la observación sistemática del desempeño en diferentes momentos del día** (Figura 8).

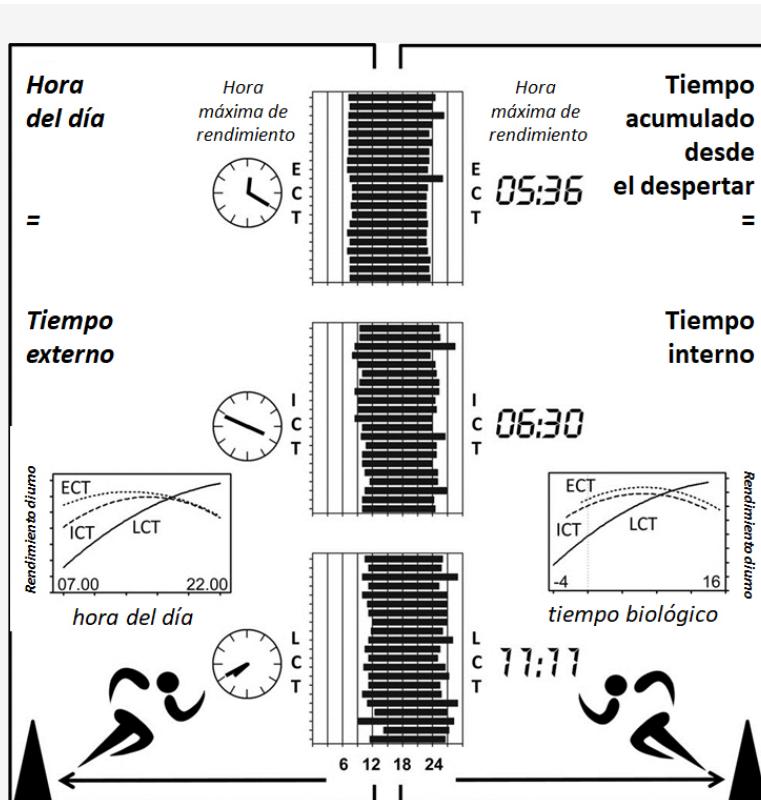


Figura 8. El fenotipo o cronotipo circadiano y el tiempo desde el despertar arrastrado, es decir "el retraso" del ciclo circadiano, refleja el tiempo biológico interno, ambos junto al tiempo del inicio del sueño y la duración del sueño son los principales determinantes del rendimiento físico a lo largo del día. Cronotipo matutino (ECT), cronotipo intermedio (ICT) o cronotipo vespertino (LCT). (Tomado de: Facer-Childs, E., Brandstaetter, R. (2015). The impact of circadian phenotype and time since awakening on diurnal performance in athletes. Current biology, 25(4), 518-522)

Se asume que el rendimiento físico presenta un ritmo circadiano (Teo et al., 2011), pero a fecha de hoy existen escasos

estudios con mujeres.

SISTEMA CIRCADIANO (CS) Y ENTRENAMIENTO NEUROMUSCULAR

Los relojes musculares responden a indicadores internos (hormonas, temperatura) y externos (luz) y al tipo y carácter del esfuerzo (CE) del ejercicio y, al ajustarlos, se irán traduciendo enanticipadores funcionales en las respuestas a los cambios. Hay algunas investigaciones como la de Zambon et al. (2003) que muestran como el entrenamiento de fuerza afecta a la expresión de genes relacionados con relojes musculares y, también se ha informado, sobre la respuesta de estos relojes al entrenamiento sistemático y regular (Dudeck y Meng, 2014).

Cada músculo dispone de mecanismo de conteo de la frecuencia de señales que constituyen ciclos a partir de la transcripción de información genética, por tanto, hay que tener en cuenta que los músculos para su acción, además de información del sistema nervioso, también reciben conteo circadiano desde sus estructuras, sincronizándose con el mecanismo o reloj principal, con los demás cronómetros musculares y orgánicos y con el contexto inmediato de la acción. La práctica de ejercicios organizados sistemáticamente, nutren de señales ordenadas a los relojes moleculares y musculares que, a su vez estimularán determinados órganos, el conjunto de todos los relojes multinivel se afecta por el transcurso horario del día completo (CS).

El ciclo biológico de anabolismo y catabolismo muestra una sincronización circadiana que, los osciladores musculares junto al entrenamiento bien organizado, ayudan a su regulación, la cual agradece la reiteración circadiana, como todos los niveles del (CS) que recogen las señales, estabilizan los ciclos e intervalos. Parece ser que los osciladores musculares tienen bastante autonomía respecto al reloj principal, aunque este les ayuda a diferenciar las horas del día y así pueden fijar su ritmo que, reforzado por programas de entrenamiento bien organizados se convierten en un excelente estimulador de ese reloj principal (Schroder et al., 2012; Schroder y Esser, 2013). La regularidad de las sesiones de entrenamiento diario es suficiente, según el estado del conocimiento actual, para poder reforzar el rendimiento de los ritmos circadianos (Wolf y Esser, 2012), como los de la T y el C. El rol de la T es mantener el anabolismo a través del proceso de síntesis proteica, por el contrario, el C desempeña una función catabólica y está involucrado en la respuesta al estrés. Se sugiere que existe una relación causal entre los ritmos circadianos de la T y el del C y las demandas musculares, siendo importante conocer los efectos de esos ritmos biológicos sobre el rendimiento físico y sus implicancias para el entrenamiento neuromuscular a la vez que conocer el impacto del rendimiento neuromuscular sobre el ritmo circadiano en las respuestas hormonales y, también interesa conocer si las variaciones, en la T y el C, serían potencialmente beneficiosas para la adaptación muscular (Teo et al., 2011). De ser necesario entrenar estímulos neuromusculares por la mañana hay que tener en consideración que, si bien los niveles de T por la mañana son más altos, también lo son los del C (Sale et al., 2008) y, por tanto, se puede estimar que la relación C/T podría presentar valores que indicaría degradación de proteínas, debiéndose observar también el tipo de respuesta individual (Hayes et al, 2010).

Toda actividad del sistema locomotor humano exige de la sinergia de órganos y tejidos para obtener energía y transmitirla con la intención de obtener un objetivo. En las contracciones algunas células musculares (miocitos) liberan proteínas (miocinas) que a través del sistema circulatorio y del nervioso simpático (Pedersen et al., 2007) comunican, por ejemplo, su actividad y el ritmo de la misma a células hepáticas, cardíacas, cerebrales o inmunes. El músculo esquelético funciona como órgano endocrino, el más grande del cuerpo humano, que produce y secreta miocinas en respuesta al ejercicio físico (Pedersen, 2013; Severinsen y Pedersen, 2020).

Las contracciones musculares repetidas y en horario regular señalizan a los demás relojes de ciclos temporales de tensión/relajación y de actividad/reposo, influyendo y causando acción y favoreciendo así que los órganos y tejidos puedan anticiparse a los siguientes estímulos neuromusculares organizados y programados (Pedersen y Hojman, 2012; Souissi et al., 2012), lo cual muestra la importancia de esos ritmos circadianos para la salud y el rendimiento de los deportistas.

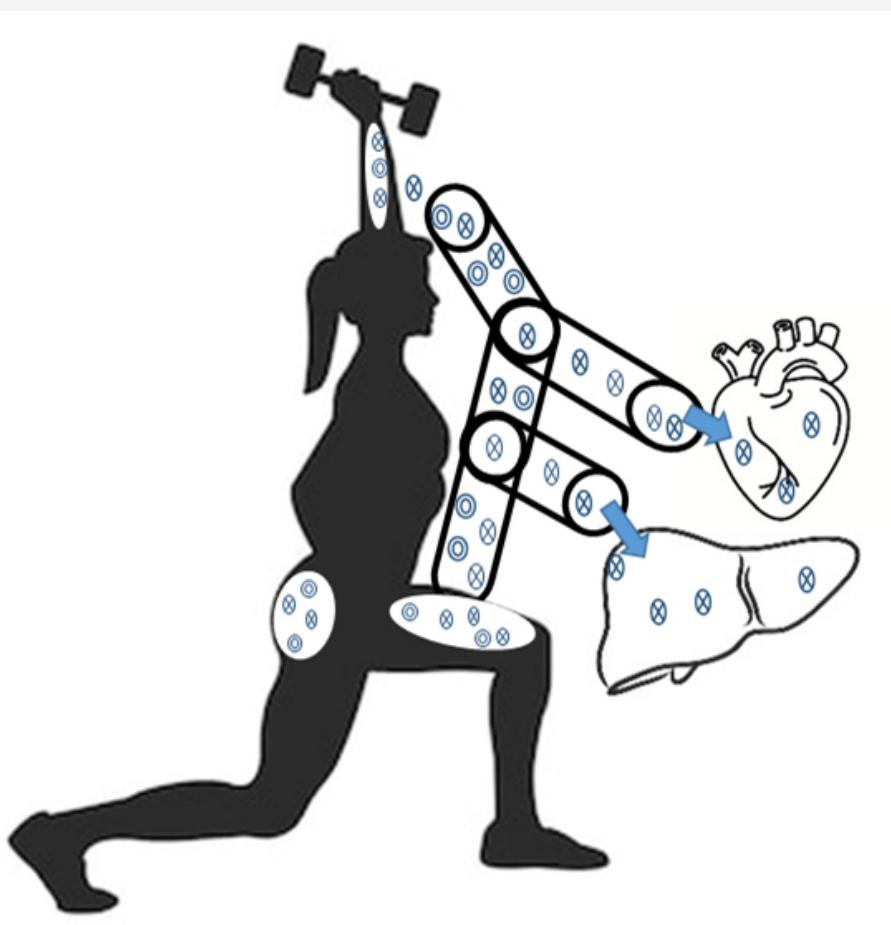


Figura 9. En las contracciones musculares se liberan miocinas que transmiten señales a otros tejidos y órganos (por ejemplo, el corazón, el hígado o la grasa corporal), para su sincronización en el entrenamiento sistemático, sucesivo y regular que permitirá al sistema neuromuscular anticipar repeticiones y/o sesiones con similar contenido.

Según el tipo de entrenamiento, en la contracción muscular (Figura 9), cada tipo de fibra libera diferentes grupos de miocinas (Kanzleiter et al., 2014), la IL-6 se expresa mejorando la sensibilidad a la insulina y la glucogénesis en el músculo, un incremento en los niveles circulantes de IL-6 mejora la oxidación de las grasas, la captación de la glucosa inducida por la insulina y sus efectos antiinflamatorios (Pedersen y Febbraio, 2008; Pedersen et al., 2012; Muñoz-Cánores et al., 2013), también puede contribuir a la hipertrofia y funcionalidad del músculo esquelético, aumentando la síntesis de proteínas contráctiles (De Melo et al., 2022), el entrenamiento de fuerza al final de la tarde causa una mayor hipertrofia muscular que por la mañana, con una mayor expresión de la proteína 3, fijadora del factor de crecimiento similar a la insulina (Burley et al., 2016). El aumento de IL-6 en plasma lo determinan la cantidad de masa muscular involucrada en el ejercicio, su intensidad y la duración del esfuerzo, IL-6 aumenta exponencialmente y alcanza su pico al final del ejercicio o poco tiempo después (Pedersen y Febbraio, 2008), teniendo presente que las contracciones excéntricas, en algún caso, podrían llegar a retardar el pico máximo de IL-6 (Robson-Ansley et al., 2010) En estos procesos musculares también intervienen, por ejemplo, IL-15, el factor neutrófico BDNF (Pedersen, 2011; Erickson et al., 2011; Pérez-López et al., 2018), o la Diocina, que aumenta la expresión de genes involucrados en las vías de crecimiento muscular, por lo que contribuye a reestructurar el músculo durante la hipertrofia (Kanzleiter et al., 2014).

PRESENTACIÓN REGULAR DE LOS ESTÍMULOS DE ENTRENAMIENTO NEUROMUSCULAR: CRONOEJERCICIO Y CRONOSESION

Reconocido que el ejercicio físico es una señal o temporizador (Figura 6) de los relojes periféricos (Schroder y Esser, 2013; Gabriel y Zierath, 2019), los musculares están regulados por el ejercicio programado de manera independiente del reloj

principal (NSQ). Realizando ejercicio en condiciones de poca luz y en un horario de fase de sueño avanzada, se encontró que el ciclo de vigilia y sueño se acelera, pero no se registró lo mismo en el ritmo de la melatonina (Yamanaka et al., 2010). Los ejercicios que estimulan el sistema neuromuscular cambiaron la expresión génica del reloj circadiano del músculo esquelético de humanos (Zambon et al., 2003). Por todo ello, y porque el ejercicio actúa como un factor de impulso del potencial de los relojes del músculo esquelético de los humanos, se ha llegado al concepto de cronoejercicio (Aoyama y Shibata, 2017), al que se le podrá añadir seguramente el de cronosesión.

Si se reciben estímulos de esfuerzos musculares iterativos y secuenciales, los relojes musculares "aprenden" cuando esperar y cuando responder. Entre la sesión 1 y la sesión 1₁ los mecanismos de cuento habrán encontrado el patrón de estímulo e intervalo repetidos (frecuencia, ritmo), lo cual permite la sincronización circadiana más eficaz para responder anticipando la activación molecular, tanto en el tiempo de la funcionalidad muscular como en el tiempo de recuperación (R1; R1₁; etc.), concretándose en un patrón rítmico ("A") que, repitiéndose, anticipará el siguiente patrón ("B"), dándose el ciclo de oscilaciones pertinente. Estos patrones como procesos reiterados, con la necesaria continuidad, pueden llegar a lograr el efecto adaptativo del cambio de patrón o, incluso, de fase del ritmo circadiano (Figura 10). Adquirir la sincronización de señales y la cadencia de acciones en un marco temporal oportuno, supone coordinar las actividades moleculares por la interacción o *timing* de señales de contexto, fisiológicas y de los propios esfuerzos de entrenamiento y sus efectos inmediatos en la recuperación.

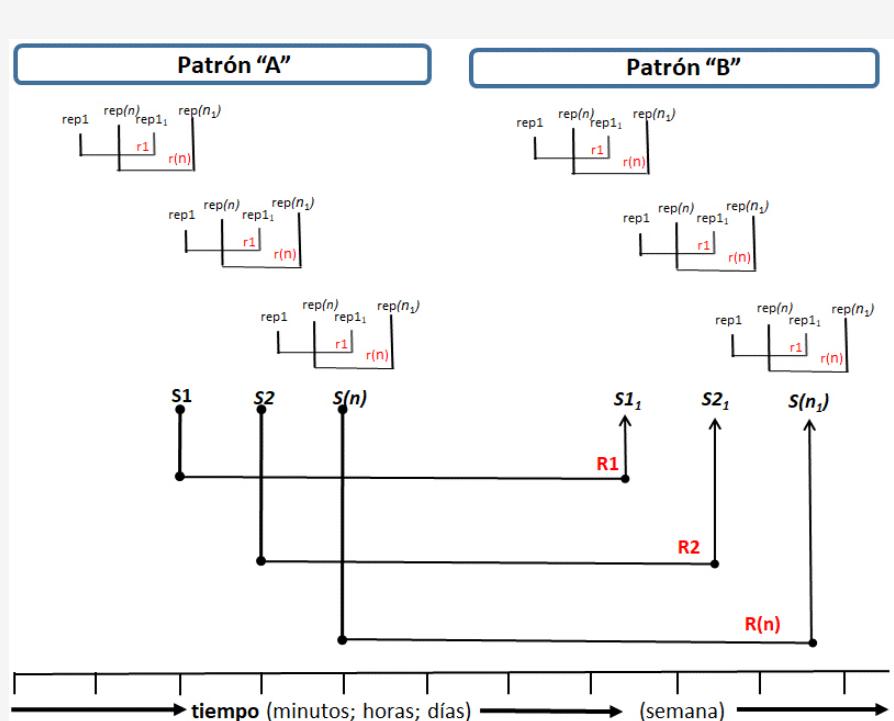


Figura 10. El entrenamiento deportivo precisa de procesos con estímulos iterativos, equilibrados con la variabilidad que precisen sus objetivos, por ejemplo metabólicos, mecánicos, perceptivos o emocionales. Los estímulos de los esfuerzos musculares en repeticiones (**rep**) con su frecuencia e intervalos (**r**) secuenciados en métodos (desde milisegundos hasta horas) y en sesiones (**S**), con sus tiempos de recuperación(**R**), señalan a los relojes musculares cuando esperar y cuando responder. Esto permite la sincronización circadiana más eficaz para responder anticipando la activación molecular, tanto en el tiempo de la acción muscular (**rep**; **S**) como en el tiempo de recuperación (**r**; **R1**), concretándose en un patrón rítmico biológico ("A") que, repitiéndose se anticipará al siguiente ("B").

Carácter del esfuerzo(CE), alternancia trabajo/recuperación y ritmos biológicos

El grado o carácter del esfuerzo fue definido por González-Badillo y Gorostiaga (1995). Si se piensa en un determinado ejercicio de entrenamiento neuromuscular que implique vencer resistencias externas añadidas, el carácter del esfuerzo (CE) viene definido por la diferencia entre lo realizado y lo que el deportista podría llegar a realizar, sin más limitación que su disponibilidad psicofísica, el (CE), por ejemplo, en flexión profunda de piernas bipodal (*squat*), si el deportista podría alcanzar hasta 10 repeticiones en una misma serie, con la misma carga externa y sin pérdida significativa de la velocidad máxima que alcanzó en la repetición nº 1, el (CE) será diferente si entrena en dos series de 4 repeticiones que en una de 8

(González-Badillo, 2008; González-Badillo, 2021). Este modo de estimación del (CE) permite, además de atender sus objetivos neuromecánicos y metabólicos, ajustar con mayor precisión el entrenamiento neuromuscular y el cronotipo individual (Vitale et al., 2019), además de al estado de forma diario (ciclos circadianos), pudiendo incluso establecerse el umbral de cambio adaptativo.

Cronoejercicio(s) y cronosesión intradía

La percepción de duraciones cortas es sensible a las variaciones inducidas de, por ejemplo, la atención, las emociones, la temperatura o la dieta (Droit-Volet y Meck, 2007), también se ha informado de la variación del juicio de la duración temporal respecto a los ritmos circadianos estándar (Kuriyama et al., 2005; Lustig y Meck, 2001), o sobre señales auditivas y visuales (Aschoff, 1985; Mech, 1991). Es por ello que hay que tener presente y valorar que las situaciones deportivas y su entrenamiento necesitan un buen ajuste temporal que, cabe esperar será favorecido por una adecuada sincronización de todo el sistema (CS), entre otras razones por que una red de osciladores (estacionales, circadianos, de intervalo de segundos a minutos, y de milisegundos) regula el comportamiento del tiempo, proponiéndose este cronometraje biológico multinivel como un enfoque sistémico del tiempo biológico que, en su conjunto, contribuye a la conducta humana (Golombek et al., 2014), y, por tanto es de esperar que en las conductas del deportista entrenando y compitiendo, por ejemplo, al asumirse que la fatiga mental afecta al rendimiento psicomotor específico del deporte (Habay et al., 2021), entre otras razones por que a medida que aumenta la fatiga, esta domina la atención del deportista (Lohse y Sherwood, 2011), lo cual afectará a la eficacia de la necesaria interacción entre percepción y acción (Smits et al., 2014) que, en movimientos breves y explosivos puede alterar la percepción de la duración temporal en fases del patrón de movimiento, con disminución de precisión y/o velocidad, lo cual repercutirá de un modo importante y holístico en la perdida de rendimiento deportivo que se manifestará desde en la eficiencia psicomotora, la toma de decisiones, hasta en la autoeficacia percibida o en la motivación (Knicker et al., 2011).

Si, como se ha demostrado, una configuración de la serie de entrenamiento de fuerza isométrica de extensión de rodillas, con pausas de recuperación dentro de la serie indujo menor fatiga central y periférica, que con una configuración clásica (Río-Rodríguez et al., 2016), es de esperar que afecta de un modo favorable a las adaptaciones de los ritmos biológicos centrales y periféricos involucrados en el rendimiento neuromuscular

Después de una sesión de entrenamiento de fuerza, antes de realizar otros de objetivo cardiovascular, para que obtengan el mejor beneficio los mecanismos moleculares que promueven mejoras neuromusculares, se precisa que transcurran entre 3 (Jones et al., 2017) y 24 horas (Murach y Blagley, 2016), de otro modo habrá interferencias no positivas y disminuirán los efectos sobre la fuerza y la potencia muscular (Hakkinen et al., 2003; Mikkola et al., 2012; Doma y Deakin, 2013; Robineau et al., 2016; Jones et al., 2017).

También pueden resultar de interés, para el entrenamiento neuromuscular, como los mecanismos de recompensa cerebral podrían ser potentes temporizadores o sincronizadores del (CS), proporcionando referencias motivacionales subyacentes en algunas características del tiempo de intervalo (Golombek et al., 2014).

Cronosesiones interdía

La iteración del binomio ejercicio/horario, como estímulo o señal externos, va determinando un ritmo circadiano biológico, tanto de la miogénesis como del metabolismo del músculo esquelético, llegando a poder desincronizarse del reloj central (Mayeuf-Louchart et al., 2015). Las señales temporales o intervalos de tiempo entre los esfuerzos musculares, durante días y semanas, logran actuar como sincronizadores y, al optimizar las anticipaciones neurofisiológicas, promueven un mejor rendimiento neuromuscular a través de una estabilidad y funcionalidad mayor de los relojes de varios niveles. Las adaptaciones se irán produciendo en la apreciación del marco de tiempo, de frecuencias altas, medias y/o bajas, promoviendo una sincronización o ritmo más eficaz, eficiente y especializado, cuando la organización, planificación y desarrollo de acciones motrices o ejercicios, métodos y sesiones garantice esos procesos.

Entre sesiones intensas de entrenamiento neuromuscular deben transcurrir más de 48 horas (Doma y Deakin, 2013) y menos de 96 horas (Carter y Greenwood, 2014).

Si se tiene un objetivo de hipertrofia, se puede provocar una interacción positiva entre sesiones con objetivos alternativos neuromusculares y cardiovasculares, siempre que se garantice la diferencia de 24 horas entre ellas (Murach y Blagley, 2016).

Para deportes con manifestaciones de velocidad motriz rápida se vienen realizando entrenamientos de alta intensidad intervalada (HIIT) que, al menos según la evidencia actual, deben ser realizados después de los entrenamientos neuromusculares y con la diferencia de 3 a 24 horas, pudiendo incluso lograr una mutua potenciación, al menos para individuos altamente entrenados (Petré et al., 2018).

Es muy conocido que el descanso y la relajación tienen efectos beneficiosos sobre las células, [las evidencias científicas indican que el descanso y el sueño reparador diario ayudan a eliminar riesgo y daños y mantiene o recupera el ritmo circadiano de sueño/vigilia](#). Además de la recuperación frente al estrés y la fatiga, mediante el aumento del IGF-I local y el control de la inflamación local, puede contribuir a prevenir o ayudar a la recuperación de lesiones musculares inducidas por el entrenamiento (Chennaoui et al., 2021).

La regulación nutricional del sueño en deportistas ha sido recientemente investigada (Doherty et al., 2019; Halson, 2014; Walsh et al., 2020). Se informó sobre el efecto positivo de la ingesta de una combinación de nutrientes, acortándose el tiempo para conciliar el sueño y prolongando su duración, proporcionando un sueño más eficaz (Lagan-Evans et al., 2022).

Se hipotetiza que los cambios fisiológicos durante el sueño, mediados directamente por genes del reloj circadiano o, indirectamente a través de hormonas y citosinas, promueven un “[microambiente](#)” adecuado para que las células madre proliferen, migren y se diferencien, hormonas como la melatonina y el [cortisol](#) se secretan en respuesta a señales ópticas neurales y actúan en armonía para regular muchas funciones biológicas durante el sueño (Elkhenany et al., 2018), se asume que la [melatonina](#) activa la eliminación de estructuras celulares dañadas. Por otro lado, recientemente se ha informado que en humanos existe ritmicidad de la percepción del dolor, controlada por dos procesos superpuestos, el más importante es el ritmo circadiano junto al relacionado con el sueño, una vez más parece interesante considerar la hora del día en la evaluación y manejo del dolor (Daguet et al., 2022).

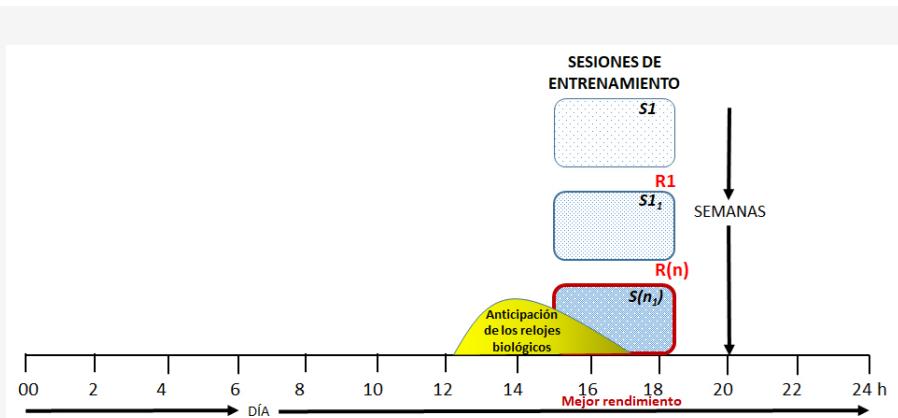


Figura 11. La modulación del rendimiento del músculo esquelético se puede beneficiar de la anticipación de los relojes biológicos. Se presenta un ejemplo en modo gráfico de sesiones (S_1 ; S_{11} ; $S_{(n)}$) de entrenamiento realizados todos los días entre las 16:00 horas y las 18:00 horas, dentro de un programa de varias semanas, de este modo, progresivamente se han establecido diferentes mecanismos que permiten la anticipación para una mejor preparación del músculo esquelético, lo que llevará a un mejor rendimiento. (A partir de: Mayeuf-Louchart, A., Staels, B., Duez, H., 2015).

En una investigación sobre el ritmo circadiano de la fuerza muscular durante 24 horas, un día de 6 semanas, tanto a velocidades lentas como rápidas de trabajo muscular de extensores y flexores de rodilla, resultando como ritmo más definido el de la fuerza de los extensores de rodilla a velocidad lenta. (Araujo et al., 2010)

Se realizó un estudio durante una concentración de velocistas de competición, en 10 días sucesivos, analizándose el efecto de una serie de sesiones de entrenamiento de velocidad-potencia, sobre los cambios circadianos de la temperatura y de la creatina quinasa (CK) en plasma, observando desde el primer día que la temperatura ya descendió hasta una reducción significativa, desde el día 6 (hombres) y 8 (mujeres) hasta el final, a la vez que los niveles de la CK aumentaron en el grupo masculino desde el día 8 hasta el final de los 10 días, y sin cambios significativos en las esprinters. Los ritmos circadianos de la CK siempre aumentaron durante el día y disminuyeron durante la noche. La temperatura disminuyó durante el día y aumentó durante la noche hasta el día 6, invirtiendo esa tendencia desde el día 7 al 10, es decir, la temperatura pasó a aumentar durante el día y disminuir durante la noche, pudiendo darse una ruptura de los ritmos biológicos implicados en el entrenamiento neuromuscular, lo cual puede suponer una desregulación fisiológica estresante, por lo cual sugieren los investigadores (Korman et al., 2021) que el microciclo de entrenamiento debería durar alrededor de 7 días.

APLICACIONES PRÁCTICAS

Siendo la organización sistémica temporal una manifestación del ajuste y adaptación a los ciclos ambientales de la capacidad de percepción temporal y de predicción de cambios próximos, parece de interés que, al usar ejercicios que sean estímulo adaptativo para el sistema neuromuscular, en tiempos de acción/predicción de milisegundos o de segundos a pocos minutos, sería positivo, primero evitar y no provocar desajustes, para lo cual es necesaria una organización y distribución de cargas adecuada y alineada a los ritmos biológicos personales como, por ejemplo el cronotipo, el estilo de vida, la capacidad de recuperación, el estrés y, el ciclo menstrual en las deportistas.

El sueño es un proceso imprescindible para la recuperación de niveles de competencias de funciones psicofisiológicas más básicas como el gasto metabólico o nervioso o integradas como aprender o memorizar, o a la recuperación de los sistemas inmunitario y endocrino (Doherty et al., 2019), la alteración del sueño puede afectar negativamente al rendimiento deportivo (Chennaoui et al., 2015; Kline, 2014).

A partir de varios estudios, Garaulet (2017) enumera algunas sugerencias fundamentadas **para mantener y mejorar ritmos biológicos circadianos saludables:**

- Aprovechar la intensidad de la luz y si se entrena por la tarde/noche, terminar unas dos horas y media antes de la hora habitual de ir a dormir.
- Realizar con la mayor regularidad posible las horas y duración de ingesta alimenticia y de ayuno intermedio. La comida principal es mejor realizarla al mediodía y, de ser posible antes de las 15 h. Intentar alejar la hora de la cena unas dos horas y media de la hora de ir a dormir.
- En caso de dormir siesta, no debería de ser de más de 30 minutos y, mejor, entre las 15 y 17 horas.
- Acerándose la hora de ir a dormir evitar toda fuente de estrés, modular la luz ambiental evitando pantallas de luz blanca cerca.

Para optimizar los ritmos circadianos de los **ejercicios de entrenamiento neuromuscular, administrados en métodos:**

- Aunque el conocimiento actual no determina la idoneidad homogénea para todos los grupos musculares, ni para todo tipo de contracciones, de ser posible es recomendable entrenar neuromuscular por la tarde. Pero conviene saber que grupos musculares son más utilizados y su nivel de exigencia promedio en las actividades cotidianas del deportista antes de la sesión con exigencia neuromuscular localizada en esos grupos.

Para optimizar los ritmos circadianos de las **sesiones y la sucesión de las mismas, de entrenamiento neuromuscular:**

- Sería idóneo **reiterar las horas de sesiones de entrenamiento neuromuscular**, por ejemplo:
 1. Identificando, sobre todo en sesiones antes del mediodía, las horas transcurridas desde el despertar hasta el pico de rendimiento neuromuscular individual.
 2. Haciendo coincidir los mejores momentos de rendimiento individual con los de entrenamiento (Hayes et al., 2010).
 3. Haciendo coincidir las sesiones de acuerdo al momento óptimo del día según su cronotipo de cada deportista, (Gabriel y Zierath, 2019; Ayala et al., 2021), siendo imprescindible haber podido identificarlo de un modo fiable.
- En **deportes que exijan mucha mejora de la fuerza y la potencia muscular, de ser posible, estableciendo el ritmo circadiano individual de la T se podría** explorar un mejor efecto de los programas de entrenamiento neuromuscular (Hayes et al., 2010).
- En ciclos específicos, de afinamiento o de competición, realizar sesiones de entrenamiento neuromuscular con exposición solar (Van der Rhee et al., 2016; Bonmati-Carrión et al., 2014)

Para **mantener y mejorar el rendimiento deportivo estando en periodo de competiciones**, las rutinas serán para priorizar los ritmos biológicos circadianos:

- Para los deportes que requieren precisión en el control motor, y/o aprender cognitivamente la estrategia, parece favorable para el afinamiento o *tapering*, entrenar estos contenidos, técnicos y/o tácticos, en algunas mañanas, ya que suele haber más precisión en los movimientos, mejor respuesta de reacción, y mayor rapidez tanto de comprensión como en la toma de decisiones.
- En caso de precisar el uso de cargas con respuestas de valores altos de fuerza y potencia muscular, podría ser una opción realizarlas entre las 18 y las 20 h, horas en las que además cabe esperar que se den valores menores de estrés fisiológico (adrenalina; cortisol) y mejor anabolismo muscular.

- Antes de una competición importante, si se dispone de al menos 7 días sin estresores impuestos (por ejemplo, cambio de huso horario, carga de entrenamiento alta o elevada), se debe entrenar a la hora prevista de la competición, aunque durante algunos días se alteren los hábitos circadianos más saludables (Garaulet, 2017).

REFERENCIAS

1. Adán A. (2004). Cronobiología. *Aspecto olvidado en el estudio de la conducta*. *Psiquiatr Biol.* 11: 33-40.
2. Adán A. (1995). La cronopsicología, su estado actual: una revisión. *Revista latinoam psicol.* 27: 391-428.
3. Martínez-Carpio PA, Corominas A. (2004). Introducción general a la cronobiología clínica y a la manipulación terapéutica de los ritmos biológicos. [General introduction to clinical chronobiology and the therapeutic manipulation of biological rhythms]. *Med Clin.* 123: 230-5.
4. Albrecht U. (2012). Timing to perfection: the biology of central and peripheral circadian clocks. *Neuron* 74, 246-260.
5. Aoyama S., Shibata, S. (2017). The Role of Circadian Rhythms in Muscular and Osseous Physiology and Their Regulation by Nutrition and Exercise. *Front. Neurosci.* 11:63. doi: 10.3389/fnins.2017.00063
6. Araujo, L. G., Waterhouse, J., Edwards, B., Santos, E. H. R., Tufik, S., Túlio de Mello, M. (2011). Twenty-four-hour rhythms of muscle strength with a consideration of some methodological problems. *Biological rhythm research*, 42(6), 473-490.
7. Aschoff J. (1985). On the perception of time during prolonged temporal isolation. *Hum. Neurobiol.* 4, 41-52
8. Ashmore, A. (2020). Timing resistance training. *Human Kinetics. Champaign, IL (USA)*
9. Ayala, V., Martínez-Bebia, M., Latorre, J. A., Gimenez-Blasi, N., Jimenez-Casquet, M. J., Conde-Pipo, J., ... Mariscal-Arcas, M. (2021). Influence of circadian rhythms on sports performance. *Chronobiology International*, 38(11), 1522-1536.
10. Berson, D. M., Dunn, F. A., Takao, M. (2002). Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. *Science*, 295(5557), 1070-1073.
11. Bonmati-Carrión, M. A., Arguelles-Prieto, R., Martínez-Madrid, M. J., Reiter, R., Hardeland, R., Rol, M. A., Madrid, J. A. (2014). Protecting the melatonin rhythm through circadian healthy light exposure. *International journal of molecular sciences*, 15(12), 23448-23500.
12. Bonmati-Carrion, M. A., Revell, V. L., Cook, T. J., Welch, T. R., Rol, M. A., Skene, D. J., Madrid, J. A. (2020). Living Without Temporal Cues: A Case Study. *Frontiers in Physiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fphys.2020.00011>
13. Buhusi CV, Meck WH. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nat. Rev. Neurosci.* 6, 755-765.
14. Burley SD, Whittingham-Dowd J, Allen J, Grosset J-F, Onambele-Pearson GL. (2016). The differential hormonal milieu of morning versus evening may have an impact on muscle hypertrophic potential. *PloS one*. 11:e0161500.
15. Carter, J., Greenwood, M. (2014). Complex training reexamined: Review and recommendations to improve strength and power. *Strength & Conditioning Journal*, 36(2), 11-19.
16. Carter, J., Greenwood, M. (2014). Complex training reexamined: Review and recommendations to improve strength and power. *Strength & Conditioning Journal*, 36(2), 11-19.
17. Chennaoui M, Arnal PJ, Sauvet F, Léger D. Sleep and exercise: a reciprocal issue? *Sleep Med Rev* . (2015). ;20:59-72.
18. Chennaoui, M., Vanneau, T., Trignol, A., Arnal, P., Gomez-Merino, D., Baudot, C., ... Chalabi, H. (2021). How does sleep help recovery from exercise-induced muscle injuries?. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 24(10), 982-987.
19. Daguet, I., Raverot, V., Bouhassira, D., Gronfier, C. (2022). Circadian rhythmicity of pain sensitivity in humans, Brain, Volume 145, Issue 9, September 2022, 3225-3235, <https://doi.org/10.1093/brain/awac147>
20. De Melo Madureira ÁN, de Oliveira JRS, de Menezes Lima VL. (2022). The Role of IL-6 Released During Exercise to Insulin Sensitivity and Muscle Hypertrophy. *Mini Rev Med Chem.* 2022 Mar 9. doi: 10.2174/138955752266220309161245.
21. De Souza, E. O., Tricoli, V., Franchini, E., Paulo, A. C., Regazzini, M., & Ugrinowitsch, C. (2007). Acute effect of two aerobic exercise modes on maximum strength and strength endurance. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(4), 1286-1290.
22. Doherty R, Madigan S, Warrington G, Ellis J. Sleep and nutrition interactions: implications for athletes. *Nutrients* . (2019). ;11(4):822.
23. Doma, K., Deakin, G. (2013). The cumulative effects of strength and endurance training sessions on muscle force generation capacity over four days. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 21, 34-38.
24. Doma, K., Deakin, G. (2013). The cumulative effects of strength and endurance training sessions on muscle force generation capacity over four days. *Journal of Australian Strength and Conditioning*, 21, 34-38
25. Droit-Volet S, Meck WH. (2007). How emotions colour our perception of time. *Trends Cogn. Sci.* 11, 504-513.
26. Dudek, M., Meng, Q. J. (2014). Running on time: the role of circadian clocks in the musculoskeletal system. *Biochemical journal*, 463(1), 1-8.
27. Dunlap JC, Loros JJ, DeCoursey PJ. (2004). Chronobiology. *Biological time keeping*. Sunderland, MA: Sinauer Associates
28. Dyar, K. A., Ciciliot, S., Tagliazucchi, G. M., Pallafacchina, G., Tothova, J., Argentini, C., ... y Blaauw, B. (2015). The calcineurin-NFAT pathway controls activity-dependent circadian gene expression in slow skeletal muscle. *Molecular metabolism*, 4(11), 823-833.
29. Elkhenany, H., AlOokda, A., El-Badawy, A., El-Badri, N. (2018). Tissue regeneration: Impact of sleep on stem cell regenerative capacity. *Life sciences*, 214, 51-61.
30. Erickson, K. I., Voss, M. W., Prakash, R. S., Basak, C., Szabo, A., Chaddock, L., ... & Kramer, A. F. (2011). Exercise training

- increases size of hippocampus and improves memory. *Proceedings of the national academy of sciences*, 108(7), 3017-3022.
31. Facer-Childs, E., Brandstaetter, R. (2015). The impact of circadian phenotype and time since awakening on diurnal performance in athletes. *Current biology*, 25(4), 518-522.
 32. Fyfe, J. J., Bishop, D. J., & Stepto, N. K. (2014). Interference between concurrent resistance and endurance exercise: molecular bases and the role of individual training variables. *Sports medicine*, 44(6), 743-762.
 33. Gabriel, B. M., Zierath, J. R. (2019). Circadian rhythms and exercise—re-setting the clock in metabolic disease. *Nature Reviews Endocrinology*, 15(4), 197-206.
 34. Garaulet, M. (2017). Los relojes de tu vida. *Paidós. Barcelona*
 35. Golombek, D. A., Bussi, I. L., y Agostino, P. V. (2014). Minutes, days and years: molecular interactions among different scales of biological timing. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 369(1637), 20120465.
 36. Gomes, G. K., Franco, C. M., Nunes, P. R. P., Orsatti, F. L. (2019). High-frequency resistance training is not more effective than low-frequency resistance training in increasing muscle mass and strength in well-trained men. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 33, S130-S139.
 37. González-Badillo, J.J. (2008). Significado fisiológico y mecánico del carácter del esfuerzo en el entrenamiento de fuerza. *RED Revista de Entrenamiento Deportivo*, 22(4) 23-25
 38. González-Badillo, J.J. (2021). ¿Qué es el carácter del esfuerzo? ¿Para qué sirve? G-SE on line. Disponible en: <https://g-se.com/que-es-el-caracter-del-esfuerzo-q-6efea651dace3a>
 39. González-Badillo, J.J. Gorostiaga, E. (1995). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. *Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Editorial INDE. *Barcelona*.
 40. Greco, C. M., Koronowski, K. B., Smith, J. G., Shi, J., Kunderfranco, P., Carriero, R., ... Sassone-Corsi, P. (2021). Integration of feeding behavior by the liver circadian clock reveals network dependency of metabolic rhythms. *Science advances*, 7(39), eabi7828
 41. Habay, J., Van Cutsem, J., Verschueren, J., De Bock, S., Proost, M., De Wachter, J., ... & Roelands, B. (2021). Mental fatigue and sport-specific psychomotor performance: a systematic review. *Sports Medicine*, 51(7), 1527-1548.
 42. Häkkinen, K., Alen, M., Kraemer, W. J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., ... & Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European journal of applied physiology*, 89(1), 42-52.
 43. Halson SL. Sleep in elite athletes and nutritional interventions to enhance sleep. *Sports Med* . (2014). ;44(Suppl 1): S13-23.
 44. Hayes, L. D., Bickerstaff, G. F., Baker, J. S. (2010). Interactions of cortisol, testosterone, and resistance training: influence of circadian rhythms. *Chronobiology international*, 27(4), 675-705.
 45. Honma S. (2018). The mammalian circadian system: a hierarchical multi-oscillator structure for generating circadian rhythm. *J Physiol Sci*. 2018 May;68(3):207-219. doi: 10.1007/s12576-018-0597-5.
 46. Huang, R. C. (2018). The discoveries of molecular mechanisms for the circadian rhythm: The 2017 Nobel Prize in Physiology or Medicine. *Biomedical journal*, 41(1), 5-8.
 47. Jones, T. W., Howatson, G., Russell, M., French, D. N. (2017). Effects of strength and endurance exercise order on endocrine responses to concurrent training. *European journal of sport science*, 17(3), 326-334.
 48. Kanzleiter, T., Rath, M., Görgens, S. W., Jensen, J., Tangen, D. S., Kolnes, A. J., ... & Eckardt, K. (2014). The myokine decorin is regulated by contraction and involved in muscle hypertrophy. *Biochemical and biophysical research communications*, 450(2), 1089-1094.
 49. Kline CE, Durstine JL, Davis JM, Moore TA, Devlin TM, Zielinski MR, Youngstedt SD. (2007) Circadian variation in swim performance. *J Appl Physiol* (1985). 2007 Feb;102(2):641-9. doi: 10.1152/japplphysiol.00910.2006. Epub 2006 Nov 9. PMID: 17095634.
 50. Kline CE. The bidirectional relationship between exercise and sleep: implications for exercise adherence and sleep improvement. *Am J Lifestyle Med* . (2014). ;8(6):375-9.
 51. Knicker, A.J., Renshaw, I., Oldham, A.R.H. et al. Interactive Processes Link the Multiple Symptoms of Fatigue in Sport Competition. *Sports Med* 41, 307-328 (2011). <https://doi.org/10.2165/11586070-00000000-0000>
 52. Korman, P., Kusy, K., Kantanista, A., Straburzyńska-Lupa, A., Zieliński, J. (2021). Temperature and creatine kinase changes during a 10d taper period in sprinters. *Physiological Measurement*, 42(12), 124001.
 53. Kuriyama, K., Uchiyama, M., Suzuki, H., Tagaya, H., Ozaki, A., Aritake, S., ... & Takahashi, K. (2005). Diurnal fluctuation of time perception under 30-h sustained wakefulness. *Neuroscience research*, 53(2), 123-128. doi:10.1016/j.neures.2005.06.006
 54. Küüsmaa, M., Schumann, M., Sedliak, M., Kraemer, W. J., Newton, R. U., Malinen, J. P., ... Häkkinen, K. (2016). Effects of morning versus evening combined strength and endurance training on physical performance, muscle hypertrophy, and serum hormone concentrations. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(12), 1285-1294.
 55. Küüsmaa, M., Sedliak, M., Häkkinen, K. (2015). Effects of time-of-day on neuromuscular function in untrained men: Specific responses of high morning performers and high evening performers. *Chronobiology international*, 32(8), 1115-1124.
 56. Lohse, K. R., & Sherwood, D. E. (2011). Defining the focus of attention: Effects of attention on perceived exertion and fatigue. *Frontiers in psychology*, 2, 332.
 57. Lustig C, Meck WH. (2001). Paying attention to time as one gets older. *Psychol. Sci*. 12, 478-484
 58. Malhotra, D., Narula, R., Zutshi, K., Kapoor, G., & Aslam, B. (2014). Effect of time of day and concentric or eccentric strength training on muscle strength. *Indian Journal of Physiotherapy and Occupational Therapy*, 8(1), 134.
 59. Mauk MD, Buonomano DV. (2004). The neural basis of temporal processing. *Annu. Rev. Neurosci*. 27,307-340.
 60. McCarthy, J. J., Andrews, J. L., McDearmon, E. L., Campbell, K. S., Barber, B. K., Miller, B. H., ... & Esser, K. A. (2007). Identification of the circadian transcriptome in adult mouse skeletal muscle. *Physiological genomics*, 31(1), 86-95.

61. Meck, W. H. (1991). Modality-specific circadian rhythmicities influence mechanisms of attention and memory for interval timing. *Learning and Motivation*, 22(1-2), 153-179.
62. Mikkola, J., Rusko, H., Izquierdo, M., Gorostiaga, E. M., & Häkkinen, K. (2012). Neuromuscular and cardiovascular adaptations during concurrent strength and endurance training in untrained men. *International journal of sports medicine*, 33(09), 702-710.
63. Miller, B. H., McDearmon, E. L., Panda, S., Hayes, K. R., Zhang, J., Andrews, J. L., ... & Takahashi, J. S. (2007). Circadian and CLOCK-controlled regulation of the mouse transcriptome and cell proliferation. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 104(9), 3342-3347.
64. Muñoz-Cánores, P., Scheele, C., Pedersen, B. K., Serrano, A. L. (2013). Interleukin-6 myokine signaling in skeletal muscle: a double-edged sword?. *The FEBS journal*, 280(17), 4131-4148.
65. Murach, K. A., Bagley, J. R. (2016). Skeletal muscle hypertrophy with concurrent exercise training: contrary evidence for an interference effect. *Sports medicine*, 46(8), 1029-1039.
66. Murphy, B. A., Wagner, A. L., McGlynn, O. F., Kharazyan, F., Browne, J. A., Elliott, J. A. (2014). Exercise influences circadian gene expression in equine skeletal muscle. *The Veterinary Journal*, 201(1), 39-45.
67. Pedersen, B. K. (2011). Muscles and their myokines. *Journal of Experimental Biology*, 214 (2): 337-346. <https://doi.org/10.1242/jeb.048074>
68. Pedersen, B. K. (2013). Muscle as a secretory organ. *Comprehensive Physiology*, 3(3), 1337-1362.
69. Pedersen, B. K., Åkerström, T. C., Nielsen, A. R., & Fischer, C. P. (2007). Role of myokines in exercise and metabolism. *Journal of applied physiology*.
70. Pedersen, B. K., Febbraio, M. A. (2008). Muscle as an endocrine organ: focus on muscle-derived interleukin-6. *Physiological reviews*, 88(4), 1379-1406.
71. Pedersen, L., y Hojman, P. (2012). Muscle-to-organ cross talk mediated by myokines. *Adipocyte*, 1(3), 164-167.
72. Pendegast BJ, Nelson RJ, Zucker I. (2002). Mammalian seasonal rhythms: behavior and neuroendocrine substrates. *Horm. Brain Behav.* 2, 93-156
73. Pérez-López, A., McKendry, J., Martin-Rincon, M., Morales-Alamo, D., Pérez-Köhler, B., Valadés, D., ... & Breen, L. (2018). Skeletal muscle IL-15/IL-15R α and myofibrillar protein synthesis after resistance exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28(1), 116-125.
74. Petré, H., Löfving, P., Psilander, N. (2018). The effect of two different concurrent training programs on strength and power gains in highly-trained individuals. *Journal of sports science & medicine*, 17(2), 167.
75. Reilly, T., Waterhouse, J. (2009). Sports performance: is there evidence that the body clock plays a role?. *European journal of applied physiology*, 106(3), 321-332.
76. Rio-Rodríguez, D., Iglesias-Soler, E., Fernandez del Olmo, M. (2016). Set configuration in resistance exercise: muscle fatigue and cardiovascular effects. *PLoS One*, 11(3), e0151163.
77. Robineau, J., Babault, N., Piscione, J., Lacome, M., Bigard, A. X. (2016). Specific training effects of concurrent aerobic and strength exercises depend on recovery duration. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 30(3), 672-683.
78. Robson-Ansley, P., Cockburn, E., Walshe, I., Stevenson, E., Nimmo, M. (2010). The effect of exercise on plasma soluble IL-6 receptor concentration: a dichotomous response. *Exercise immunology review*, 16, 56-76.
79. Rol de Lama, M.A. (2022). Biorritmos: ¿mito o realidad? The Conversation 28/07/2022. Disponible en: <https://theconversation.com/biorritmos-mito-o-realidad-187371>
80. Rubio-Sastre P, Gómez-Abellán P, Martínez-Nicolás A, Ordovás JM, Madrid JA, Garaulet M. Evening physical activity alters wrist temperature circadian rhythmicity. *Chronobiol Int*. (2014). Mar;31(2):276-82. doi: 10.3109/07420528.2013.833215
81. Sale, M. V., Ridding, M. C., & Nordstrom, M. A. (2008). Cortisol inhibits neuroplasticity induction in human motor cortex. *Journal of Neuroscience*, 28(33), 8285-8293.
82. Schroder, E. A., y Esser, K. A. (2013). Circadian rhythms, skeletal muscle molecular clocks and exercise. *Exercise and sport sciences reviews*, 41(4).
83. Schroeder, A. M., Truong, D., Loh, D. H., Jordan, M. C., Roos, K. P., y Colwell, C. S. (2012). Voluntary scheduled exercise alters diurnal rhythms of behaviour, physiology and gene expression in wild-type and vasoactive intestinal peptide-deficient mice. *The Journal of physiology*, 590(23), 6213-6226.
84. Severinsen, M. C. K., Pedersen, B. K. (2020). Muscle-organ crosstalk: the emerging roles of myokines. *Endocrine reviews*, 41(4), 594-609.
85. Smith, H. A., Betts, J. A. (2022). Nutrient timing and metabolic regulation. *The Journal of Physiology*, 600(6), 1299-1312. doi.org: 10.1113/JP280756 #support-information-section
86. Smith, J. G., Koronowski, K. B., Sato, T., Greco, C., Petrus, P., Verlande, A., ... Sassone-Corsi, P. (2022). Interrogating Metabolic Interactions Between Skeletal Muscle and Liver Circadian Clocks In Vivo. *bioRxiv*. preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2022.01.10.479012>
87. Smits, B.L.M., Pepping, G.J. & Hettinga, F.J. Pacing and Decision Making in Sport and Exercise: The Roles of Perception and Action in the Regulation of Exercise Intensity. *Sports Med* 44, 763-775 (2014). <https://doi.org/10.1007/s40279-014-0163-0>
88. Smolensky MH, Peppas NA. (2007). Chronobiology, drug delivery, and chronotherapeutics. *Adv Drug Deliv Rev*. 59: 828-51.
89. Souissi, H., Chtourou, H., Chaouachi, A., Dogui, M., Chamari, K., Souissi, N., y Amri, M. (2012). The effect of training at a specific time-of-day on the diurnal variations of short-term exercise performances in 10-to 11-year-old boys. *Pediatric Exercise Science*, 24(1), 84-99.
90. Souissi, N., Gauthier, A., Sesboüé, B., Larue, J., Davenne, D. (2002). Effects of regular training at the same time of day on diurnal fluctuations in muscular performance. *Journal of sports sciences*, 20(11), 929-937.
91. Stephan, F. K., y Zucker, I. (1972). Circadian rhythms in drinking behavior and locomotor activity of rats are eliminated by hypothalamic lesions. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 69(6), 1583-1586.
92. 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(03), 185-189.

93. Teo W, Newton MJ, McGuigan MR. (2011). Circadian rhythms in exercise performance: implications for hormonal and muscular adaptation. *J Sports Sci Med*. 2011 Dec 1;10(4):600-6.
94. Thun, E., Bjorvatn, B., Flo, E., Harris, A., Pallesen, S. (2015). Sleep, circadian rhythms, and athletic performance. *Sleep medicine reviews*, 23, 1-9
95. Van der Rhee, H. J., de Vries, E., Coebergh, J. W. (2016). Regular sun exposure benefits health. *Medical hypotheses*, 97, 34-37.
96. Vasey, C., McBride, J., y Penta, K. (2021). Circadian rhythm dysregulation and restoration: the role of melatonin. *Nutrients*, 13(10), 3480.
97. Vitale, J. A., Bonato, M., Torre, A. L., Banfi, G. (2019). Heart rate variability in sport performance: Do time of day and chronotype play a role?. *Journal of Clinical Medicine*, 8(5), 723.
98. Vitošević, B. (2017). The circadian clock and human athletic performance. *Bulletin of Natural Sciences Research*, 7(1).
99. Volpato GL, Trajano E. (2005). Biological rhythms. *Fish Physiology*. 21: 101-153.
100. Walsh NP, Halson SL, Sargent C, et al. Sleep and the athlete: narrative review and 2021 expert consensus recommendations. *Br J Sports Med* . (2020). ;bjssports-2020-102025.
101. West, D. W., Burd, N. A., Tang, J. E., Moore, D. R., Staples, A. W., Holwerda, A. M., ... Phillips, S. M. (2010). Elevations in ostensibly anabolic hormones with resistance exercise enhance neither training-induced muscle hypertrophy nor strength of the elbow flexors. *Journal of applied physiology*, 108(1), 60-67.
102. Wolff, G., y Esser, K. A. (2012). Scheduled exercise phase shifts the circadian clock in skeletal muscle. *Medicine and science in sports and exercise*, 44(9), 1663.
103. Zambon, A. C., McDearmon, E. L., Salomonis, N., Vranizan, K. M., Johansen, K. L., Adey, D., ... y Conklin, B. R. (2003). Time-and exercise-dependent gene regulation in human skeletal muscle. *Genome biology*, 4(10), 1-12.
104. Zhang, X., Dube, T. J., y Esser, K. A. (2009). Working around the clock: circadian rhythms and skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology*, 107(5), 1647-1654.
105. Zylka, M. J., Shearman, L. P., Weaver, D. R., y Reppert, S. M. (1998). Three period homologs in mammals: differential light responses in the suprachiasmatic circadian clock and oscillating transcripts outside of brain. *Neuron*, 20(6), 1103-1110.