



Revista Andaluza de Medicina del  
Deporte

ISSN: 1888-7546

ramd.ccd@juntadeandalucia.es

Centro Andaluz de Medicina del Deporte  
España

Cárdenas, D.; Conde-González, J.; Perales, J.C.

La fatiga como estado motivacional subjetivo

Revista Andaluza de Medicina del Deporte, vol. 10, núm. 1, marzo, 2017, pp. 31-41

Centro Andaluz de Medicina del Deporte

Sevilla, España

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=323349686007>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

Revista Andaluza de  
Medicina del Deporte[www.elsevier.es/ramd](http://www.elsevier.es/ramd)

## Revisión

## La fatiga como estado motivacional subjetivo

D. Cárdenas<sup>a,\*</sup>, J. Conde-González<sup>b</sup> y J.C. Perales<sup>c</sup><sup>a</sup> Facultad de Ciencias del Deporte, Departamento de Educación Física y Deportiva, Universidad de Granada, Granada, España<sup>b</sup> Facultad de Ciencias de la Educación, Universidad de Sevilla, Sevilla, España<sup>c</sup> Facultad de Psicología, Departamento de Psicología Experimental, Universidad de Granada, Granada, España

## INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

## Historia del artículo:

Recibido el 30 de junio de 2015

Aceptado el 21 de abril de 2016

On-line el 6 de septiembre de 2016

## Palabras clave:

Fatiga

Motivación

Carga mental

Entrenamiento

## RESUMEN

Actualmente no existe consenso sobre los factores que determinan la aparición de la fatiga. Hay factores que se derivan exclusivamente del esfuerzo físico, otros que dependen del esfuerzo mental que este lleva aparejado, y otros de los resultados de la tarea que se está realizando. Como consecuencia, se han desarrollado diferentes modelos explicativos que pretenden aunar las diferentes razones de su aparición.

No obstante, la tendencia actual es entender la fatiga como un estado motivacional complejo cuyo origen tiene lugar en numerosos procesos fisiológicos y psicológicos que sirven para regular el esfuerzo y proteger al organismo de daños graves. Los objetivos de la presente revisión narrativa son analizar los diferentes enfoques existentes para el estudio y la explicación de la fatiga, establecer el vínculo con el concepto de carga de entrenamiento y justificar la importancia de evaluar las repercusiones de la carga mental para conseguir una adecuada planificación y control del proceso de entrenamiento.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este es un artículo Open Access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Fatigue as a subjective motivational state

## ABSTRACT

There is currently no consensus on the factors that determine the onset of fatigue. There are some factors that are derived exclusively from the physical effort, others that depend on the mental effort due to physical effort, and some others on the feedback provided by the task being performed. As a result, we have developed different explanatory models that seek to combine the different reasons for its occurrence.

Nevertheless, the current trend is to understand fatigue as a complex motivational state whose origin occurs in many physiological and psychological processes that serve to regulate the effort and protect the body from serious damage. The aims of this narrative review are to analyze the different existing approaches to the study and explanation of fatigue, establish the link with the concept of training load and justify the importance of evaluating the impact of mental load to achieve a proper planning and a training process control.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Published by Elsevier España, S.L.U. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Keywords:

Fatigue

Motivation

Mental workload

Training

\* Autor para correspondencia. Carretera de Alfacar, s/n. 18011 Granada, España.  
Correo electrónico: [dcardenas@ugr.es](mailto:dcardenas@ugr.es) (D. Cárdenas).

## A fadiga como um estado motivacional subjetivo

### R E S U M O

#### Palavras-chave:

Fadiga  
Motivação  
Carga mental  
Treinamento

Atualmente não existe consenso sobre os fatores que determinam o aparecimento da fadiga. Existem fatores que são derivados exclusivamente do esforço físico, outros que dependem do esforço mental que ela traz, e outros resultados da tarefa executada. Como consequência, tem-se desenvolvido diferentes modelos explicativos que procuram combinar as diferentes razões para a sua ocorrência.

No entanto, a tendência atual é entender a fadiga como um estado motivacional complexo, cuja origem ocorre em muitos processos fisiológicos e psicológicos que servem para regular o esforço e proteger o corpo de danos graves. Os objetivos da presente revisão narrativa são analisar as diferentes abordagens existentes para o estudo e explicação da fadiga, estabelecer a ligação com o conceito de carga de treinamento e justificar a importância de se avaliar o impacto da carga mental para alcançar um planejamento adequado e controle de processo de treinamento.

© 2016 Consejería de Turismo y Deporte de la Junta de Andalucía. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introducción

En el lenguaje coloquial, el término «fatiga» se utiliza para referirse a la sensación de cansancio tras un esfuerzo, que puede ser de diversa naturaleza y genera desmotivación para la continuación de ese esfuerzo, ya sea este intelectual, laboral o deportivo. Desgraciadamente, no existe una definición universalmente aceptada de fatiga<sup>1</sup>, lo que hace que su naturaleza se presente conceptualmente compleja y ambigua.

La fatiga puede ser consecuencia de un esfuerzo físico o mental. Esta revisión se centrará en la fatiga como estado resultante de la práctica de una actividad físico-deportiva en la que habitualmente ambos tipos de esfuerzo están presentes y se asocia a la carga de entrenamiento (estímulo de entrenamiento que genera una ruptura de la homeostasis del organismo y provoca la activación de los mecanismos alostáticos que permiten recuperar el estado de equilibrio funcional).

Los factores que contribuyen a la fatiga resultante de la actividad física se derivan no solo del esfuerzo físico, sino también de la carga mental concomitante y de los resultados de la tarea que se está realizando<sup>2-4</sup>. Entre los factores de naturaleza fisiológica que han sido investigados en relación con la fatiga destacan el rendimiento cardiovascular, la oclusión vascular muscular, la eficiencia en la utilización del oxígeno y nutrientes, la fatiga neuromuscular, y la presencia de metabolitos en el medio interno. Además en este proceso intervienen factores directamente implementados en el sistema nervioso central (SNC) que sirven para regular el esfuerzo y proteger al organismo de los daños que pudieran producirse por un sobreesfuerzo<sup>2</sup>. No obstante, la fatiga también se deriva de la actividad de naturaleza táctica propia de los deportes de interacción motriz, en los que el deportista invierte un esfuerzo: por un lado cognitivo para la toma de decisiones y por otro conducente a la autorregulación emocional. En este contexto, la carga mental, como elemento que puede incidir en la fatiga, se ha convertido en un área de investigación de importancia innegable<sup>4</sup>. En tal caso, la fatiga no determina la incapacidad para continuar la actividad deportiva, sino para hacerlo manteniendo un nivel de rendimiento óptimo.

Aunque la experimentación sobre los factores que influyen en la aparición de la fatiga apunta a modelos multicausales, en la literatura científica se aprecia una sobrerrepresentación de los mecanismos fisiológicos y biomecánicos, en detrimento de los procedentes de la psicología o de las neurociencias, por lo que una revisión actualizada de estos aspectos resulta muy pertinente.

Los objetivos de esta revisión han sido analizar las diferentes definiciones de fatiga, los mecanismos que contribuyen a su aparición, defender el concepto de fatiga como un estado motivacional subjetivo que cumple una función protectora del organismo y justificar la necesidad de considerar el impacto mental de la carga de entrenamiento en la planificación y la práctica deportivas.

### Conceptos de fatiga y mecanismos que contribuyen a su aparición

La naturaleza multicausal de la fatiga ha sido objeto de estudio de la biomecánica, la fisiología y la psicología, abarcando las 2 primeras su naturaleza objetiva y la última su naturaleza subjetiva y mental<sup>5</sup>. Esta división del estudio de la fatiga ha generado definiciones diversas y no siempre compatibles<sup>2</sup>.

El enfoque fisiológico define la fatiga como un fallo funcional del organismo que se refleja en una disminución del rendimiento<sup>6</sup> y que se origina generalmente por excesivo gasto de energía o por depleción de los elementos necesarios para su generación<sup>7</sup>. En este sentido, la mayoría de investigaciones se centran en aspectos musculares, entendiendo la fatiga como una pérdida de la capacidad máxima de generar fuerza<sup>8,9</sup> o una pérdida de la producción de potencia<sup>10</sup>. No obstante, la explicación fisiológica de la fatiga va más allá de estos aspectos, siendo necesario considerar también el efecto que el ejercicio produce sobre las unidades motoras, el medio ambiente interno y el SNC.

López-Chicharro y Fernández-Vaquero<sup>11</sup> entienden que la fatiga puede resultar de la alteración de cualquiera de los procesos de los que depende la contracción muscular y aparecer como consecuencia de la alteración simultánea de varios de estos procesos. Este enfoque también lo comparten autores como Barbany<sup>12</sup>, quien distingue entre la fatiga fruto de un fallo en la activación central y la fatiga periférica.

Los mecanismos centrales y periféricos se han estudiado generalmente de forma aislada, asumiendo que su combinación se produce de forma lineal, lo que probablemente ha producido sesgos en la interpretación de los datos y en las conclusiones obtenidas. Abbiss y Laursen<sup>2</sup> han realizado una completa revisión de estos modelos, entre los que se incluyen: el modelo cardiovascular/anaeróbico, el de suministro/agotamiento de energía, el neuromuscular, el del trauma muscular, el biomecánico, el de termorregulación y, finalmente, el modelo motivacional/psicológico, que se centra en la influencia de factores de carácter intrapsicológico, como las expectativas de rendimiento o de esfuerzo requerido.

**Tabla 1**

Posibles mecanismos fisiológicos de la fatiga periférica

Fatiga periférica	
Cambios ocasionados por el ejercicio físico en el medio interno	Cambios ocasionados por el ejercicio físico en las fibras musculares
Acumulación de lactato e iones de hidrógeno	Acumulación de fosfato inorgánico en el sarcoplasma
Acumulación de amoníaco	Acumulación de $H^+$ en el sarcoplasma
Acumulación de calor que lleva a un incremento de la secreción de sudor, y por tanto a una pérdida de agua que puede llevar a una deshidratación	Inhibición de la liberación de $Ca^{2+}$ del retículo sarcoplásmico por acumulación de fosfato inorgánico
	Acumulación de iones $Mg^{2+}$ en el sarcoplasma
	Disminución de la reservas de glucógeno y (en casos extremos) disminución de los niveles de glucosa en sangre
	Disminución de la velocidad de conducción del potencial de acción a lo largo del sarcolema, probablemente como resultado de los cambios bioquímicos asociados al ejercicio en y alrededor de las fibras musculares
	Incremento del flujo de iones de potasio desde las fibras musculares

Fuente: adaptado de Ament y Verkerke<sup>5</sup>.

### Mecanismos fisiológicos periféricos

Los mecanismos fisiológicos periféricos son los que comprometen y limitan la contracción muscular más allá de la placa motora, afectando al funcionamiento del sarcolema o a cualquiera de los procesos que acontecen en el interior de las fibras musculares.

Los posibles mecanismos fisiológicos que surgen de este nivel son resumidos por autores como Ament y Verkerke<sup>5</sup> y se muestran en la [tabla 1](#).

#### Cambios ocasionados por el ejercicio físico en el medio interno

Uno de los factores limitantes del ejercicio físico es la concentración de lactato en sangre. Esta concentración experimenta un incremento acelerado a partir de un nivel determinado de carga, al que se denomina «umbral de lactato»<sup>13</sup>. Normalmente se considera el umbral el punto a partir del cual la concentración de lactato supera los 4 mmol/l<sup>14</sup>. Tal como recogen Ament y Verkerke<sup>5</sup>, es bien sabido que el tiempo que los sujetos son capaces de mantener la actividad con cargas por encima del umbral, antes de que aparezca una sensación elevada de fatiga, es muy reducido, produciéndose un incremento del cociente respiratorio durante la última etapa del ejercicio. Esto sucede al 50–60% del  $VO_{2m\acute{a}x}$  en personas no entrenadas y al 70–80% del  $VO_{2m\acute{a}x}$  en las entrenadas<sup>15–17</sup>.

El aumento de la concentración de ácido láctico significa un incremento de iones  $H^+$  por la generación extra de  $CO_2$  y, por tanto, un descenso del pH. Igualmente se produce un incremento del amoníaco en sangre. La presencia de estos metabolitos se ha asociado al incremento de la sensación de fatiga.

Finalmente, una gran parte de la energía metabólica durante el ejercicio se convierte en calor<sup>18</sup>, que conlleva un aumento de la sudoración y puede concluir en una deshidratación. Este calor es el responsable del aumento de la temperatura corporal central, que a su vez repercute en una reducción del impulso motor del SNC durante el ejercicio. Algunos autores, como Nielsen o Nybo<sup>19,20</sup>, consideran como factor limitante fundamentalmente la temperatura alcanzada por el cerebro.

#### Cambios ocasionados por el ejercicio físico en las fibras musculares

En los ejercicios con intensidades por debajo del umbral de acumulación de lactato el único factor limitante parece ser la disponibilidad de glucosa, y el esfuerzo puede ser mantenido por un tiempo prolongado. Durante el ejercicio, el glucógeno intracelular se reduce progresivamente, lo que conlleva un incremento gradual del consumo de glucosa en sangre, hasta el punto en que este es mayor que la disponibilidad<sup>21</sup>.

Por otro lado, la acumulación de fosfato inorgánico ( $P_i$ ) produce un deterioro de la fuerza de contracción isométrica<sup>22,23</sup> y reduce la regeneración de las enzimas que hidrolizan el adenosín trifosfato

**Tabla 2**

Posibles mecanismos fisiológicos de la fatiga central

Fatiga central
La conducción del potencial de acción del axón puede bloquearse en la ramificación axonal, lo que lleva a una pérdida de la activación de la fibra muscular
La unidad motora neuronal podría estar influenciada por reflejos aferentes musculares
La estimulación de los nervios tipo III y IV induce una disminución de la tasa de excitación de la neurona motora y una inhibición de la corteza motora de salida
La excitabilidad de las células en la corteza motora cerebral puede cambiar durante el curso de la tarea motora mantenida
Los efectos sinápticos de las neuronas serotoninérgicas podrían llegar a ser mayores, provocando un aumento en la sensación de cansancio y fatiga
El ejercicio induce la liberación de citocinas

Fuente: adaptado de Ament y Verkerke<sup>5</sup>.

(ATPasa) en los miofilamentos<sup>24</sup>. En un estudio en el que los participantes realizaban contracciones isocinéticas, Potma y Stienen<sup>25</sup> observaron que el incremento de  $P_i$  también inducía un descenso de la regeneración de ATPasa.

Otro de los cambios observados, el que se refiere a la concentración de adenosín difosfato (ADP), se asocia con un incremento de la producción de fuerza (tensión isométrica) y una reducción de la velocidad del ciclo de los puentes cruzados<sup>26,27</sup>.

La caída de la fuerza de contracción muscular se asocia a la inhibición de la liberación de  $Ca^{2+}$  del retículo sarcoplásmico a consecuencia del descenso de la velocidad de conducción del potencial de acción a lo largo del sarcolema y la acumulación de  $P_i$ <sup>5</sup>. Además, el incremento de la concentración de iones de  $Mg^{2+}$  en el sarcoplasma durante el ejercicio físico aumenta el efecto inhibitorio de  $P_i$ <sup>28</sup>.

Otro de los factores asociados a la fatiga periférica es el incremento del flujo de iones de potasio ( $K^+$ ) desde las fibras musculares. El incremento de  $K^+$  en la cavidad de los túbulos T conduce a un bloqueo del potencial de acción tubular y, por lo tanto, a una caída del acoplamiento contracción-excitación<sup>5</sup>.

### Mecanismos fisiológicos centrales

La fatiga central aparece cuando se altera alguno o varios de los procesos que intervienen desde que se elabora la orden motora a nivel cortical hasta que el estímulo llega al sarcolema<sup>11</sup>. Al igual que con la fatiga periférica, Ament y Verkerke<sup>5</sup> exponen un resumen de los posibles mecanismos fisiológicos de este tipo de fatiga ([tabla 2](#)).

## Mecanismos psicológicos

Si se consideran solo los factores exclusivamente fisiológicos, aunque se incluyan tanto los centrales como los periféricos, el enfoque explicativo de la fatiga sigue siendo excesivamente reduccionista. Para autores como Kayser<sup>29</sup> hay situaciones experimentales en las que no es posible explicar los límites de la resistencia con el paradigma clásico. Sirva como ejemplo los participantes sedentarios que cesan de manera voluntaria la realización de una prueba de esfuerzo incremental, fruto de la percepción de agotamiento, pese a no haber alcanzado el límite de su capacidad metabólica máxima y no existir evidencia de fatiga muscular. En estos casos se hace necesario, por tanto, buscar una alternativa explicativa<sup>30–32</sup>. Este es uno de los ejemplos que dejan evidencia de la diferencia entre la fatiga fisiológica y la percepción subjetiva de la fatiga acumulada, pese a que entre ambas la relación es estrecha, en tanto que la primera condiciona la aparición de la segunda, pero no la determina.

Actualmente algunos fisiólogos, como López-Chicharro y Fernández-Vaquero<sup>11</sup>, ya hablan de la existencia de una fatiga de carácter subjetivo que es percibida por el participante gracias a la información sensorial que recibe e integra el SNC. Existe pues una sensación de fatiga fruto de la capacidad del ser humano para elaborar un constructo mental que resulta de la combinación de múltiples factores neurofisiológicos y neuropsicológicos. Entre los primeros se incluyen las características del ejercicio, la información sensorial (proporcionada por los propioceptores, los termorreceptores, los nocioceptores y los receptores de presión), los factores metabólicos, la temperatura corporal, el equilibrio ácido-base, los gases sanguíneos, el esfuerzo respiratorio y cardiovascular, la respuesta neuroendocrina al esfuerzo y la respuesta del SNC. Por otra parte, los factores psicológicos son: la expectativa del rendimiento (predicción basada en la memoria acerca de la fuerza o potencia muscular que se debería ser capaz de desarrollar), el grado de activación y *arousal*<sup>33</sup>, la motivación y el estado anímico. Esto lleva a la necesidad de asumir que un mismo nivel de fatiga objetiva puede originar sensaciones de fatiga diferentes.

## Modelo explicativo del gobernador central

Entre los modelos explicativos de la fatiga, recogidos por Abbiss y Laursen<sup>2</sup>, cobra especial relevancia el conocido como modelo del gobernador central<sup>31,34–37</sup>. Este gobernador es descrito como el conjunto, funcionalmente diferenciable, de las estructuras del cerebro responsable de: a) la lectura e integración (no lineal) de diferentes fuentes de información, incluyendo los índices fisiológicos de esfuerzo físico; b) proporcionar la información necesaria para la regulación del esfuerzo, y c) la regulación realmente responsable de tal esfuerzo.

El primer autor en considerar la contribución del procesamiento central del cerebro en el constructo de la fatiga fue Mosso<sup>38</sup>. Fueron posteriormente Hill et al.<sup>39–41</sup> quienes motivaron el interés por las bases fisiológicas de la fatiga a partir del estudio de la influencia de la concentración de lactato en el músculo. Aunque su modelo contemplaba el cerebro como un gobernador, en este caso del funcionamiento del corazón para reducir el ritmo circulatorio, sus seguidores han ignorado este componente del modelo durante los siguientes 90 años<sup>36</sup>.

Fue Ulmer<sup>37</sup> el primero en retomar la idea. Este autor sugería que el rendimiento en el ejercicio puede ser controlado por un gobernador situado en algún lugar del SNC, donde las alteraciones en la intensidad del ejercicio son controladas por un sistema de retroalimentación continuo. Las señales eferentes que contienen información sobre la fuerza, el desplazamiento, el tiempo y

el metabolismo muscular son retroalimentadas a un controlador central a través de vías aferentes somatosensoriales.

Una idea muy similar ha sido defendida por Lambert et al.<sup>42</sup>, quienes coinciden en explicar la fatiga desde un modelo de sistemas complejos. Según este modelo, la fatiga percibida durante el ejercicio es consecuencia de la compleja interacción de múltiples sistemas periféricos fisiológicos que actúan como señales aferentes hacia el cerebro en una dinámica de integración no lineal. Este gobernador central no tendría necesariamente que estar ubicado en un lugar anatómico concreto, sino que puede ser simplemente de naturaleza funcional. En este sistema complejo se recibirían las entradas de varios sistemas, todos ellos relacionados con el ejercicio, con la función de integrarlas para proporcionar unas salidas hacia el córtex, que obligarían a tomar la decisión de detener el esfuerzo si el cómputo global superara un umbral determinado. Atendiendo a estos modelos, y en un sentido restringido, el modelo del gobernador central se puede entender como un cableado que actúa por debajo del nivel de conciencia y del control individual (en forma similar a como opera el sistema regulador de la temperatura del organismo). Su función sería impedir el reclutamiento de las estructuras musculares por encima del nivel de intensidad y duración, que podría generar un daño potencial al corazón y otras partes vitales del organismo<sup>23</sup>.

Este gobernador precisa, para su correcto funcionamiento, estar relacionado con el resto de sistemas del organismo, lo que, a su vez, requiere un adecuado equilibrio físico y químico. Este equilibrio depende de la interacción de muchos de los órganos que conforman el cuerpo, lo que supone que si el ejercicio afecta al sistema neuromuscular, también afectará al resto del medio interno. Entre estos órganos resultan determinantes los que se encargan de procesar las emociones, al desempeñar un rol esencial en la regulación del ejercicio y en la aparición, más tarde o más temprano, de la sensación de extenuación o fatiga.

Desde el paradigma explicativo del gobernador central, cualquier ejercicio voluntario comienza y termina en el cerebro, al entenderse el ejercicio como un reclutamiento y desreclutamiento de las fibras musculares, fruto de una modulación de la orden motora. El esfuerzo voluntario (el reclutamiento) comienza con una decisión consciente por parte del participante pero, por el contrario, no siempre es consciente la que obliga al desreclutamiento de las unidades motoras. Esto ocurre cuando se percibe una sensación de esfuerzo más intensa de lo tolerable (dolor muscular), lo que provoca que sea el córtex motor el que genere el cese de la actividad. Este enfoque psicológico de la fatiga otorga una gran importancia a la percepción del esfuerzo, como factor limitante del ejercicio<sup>29,43</sup>. Según esta concepción se puede definir la fatiga como una falta subjetiva de energía que interfiere en la continuación de sus tareas incidiendo directamente en la capacidad de autocontrol del participante<sup>44</sup>. En este sentido, la definición de St Clair Gibson et al.<sup>3</sup> es bastante sugerente al entender la fatiga como el conocimiento consciente de los cambios en el sistema subconsciente de control homeostático. De este modo, durante la realización del ejercicio se produciría un incremento gradual del nivel de conciencia de los cambios fisiológicos inducidos por el ejercicio; los centros superiores del cerebro, ubicados en el núcleo del tronco cerebral e hipotálamo, integrarían la información aferente sobre estos cambios fisiológicos y, junto con la modulación por otros factores, generarían la sensación de fatiga y extenuación<sup>5</sup>.

## Críticas al modelo

Aunque existe cierto consenso en que el SNC es el último factor limitante<sup>9</sup>, la noción de un gobernador central, como sistema limitador y protector del organismo ante el esfuerzo excesivo, sigue siendo controvertida<sup>45,46</sup>. Autores como Weir et al.<sup>47</sup> argumentan que no pueden explicar la fatiga en determinados tipos



de ejercicios y aportan el concepto de «dependencia de la tarea» (*task dependency*), de manera que la fatiga no estaría causada únicamente por un conjunto común de factores, sino que dependería también del tipo de ejercicio realizado (intensidad del ejercicio y el tipo de contracción muscular), de los grupos musculares implicados, de factores ambientales (calor, humedad...), de las características físicas del deportista (capacidad física, distribución del tipo de fibra muscular...), etc.<sup>47</sup>. Este modelo defiende que no es similar la fatiga que sufre un deportista cuando realiza una maratón que cuando realiza un trabajo de levantamiento de pesas. Obviamente, esta diferenciación es aún mayor cuando se trata de una actividad deportiva con un elevado componente táctico en la que la fatiga es consecuencia de esfuerzos de naturaleza física pero también mental.

Marcora<sup>48</sup> cuestiona el modelo por el hecho de que sus seguidores contemplen un nivel subconsciente de control por parte del cerebro y al mismo tiempo concedan poca importancia a la percepción del esfuerzo (*reported perceived effort* [RPE]) en la regulación del ejercicio. Los hallazgos de que la RPE predice el tiempo hasta la extenuación en condiciones diferentes sugieren que un modelo centrado en la toma de decisión basada en el esfuerzo percibido puede proporcionar una teoría unificada de la tolerancia al ejercicio. En los deportes de interacción la RPE también se ha manifestado como un indicador sensible de la carga acumulada y, por tanto, de la fatiga<sup>49</sup>.

### La fatiga como estado motivacional subjetivo

Visto lo anterior, nuestro posicionamiento es considerar la fatiga como un estado motivacional subjetivo, hedónicamente negativo y acumulativo, que surge de la integración no lineal de una variedad de índices humores, cardiovasculares, respiratorios y propioceptivos, relacionados con el esfuerzo físico y sensible a otras variables psicológicas<sup>50</sup>. Esta concepción supone un vínculo conceptual con el modelo del gobernador central, en tanto en cuanto considera la aportación de los procesos psicológicos en la construcción de la sensación de fatiga, pero también destacan el rol desempeñado por la motivación del individuo. En este sentido la fatiga es central, pero no única, y solo en parte inconsciente. La integración debe ser automática, pero su aparición debe estar también disponible para el control consciente individual del participante y poder, de esta forma, tomar decisiones como la de realizar un esfuerzo excesivo.

Numerosos investigadores han desarrollado el estudio de lo que se ha llamado la psicofísica de la fatiga<sup>51</sup>, es decir, de las funciones matemáticas relativas a la RPE y su relación con índices fisiológicos<sup>52–54</sup>, abarcando estudios para validar el constructo de la fatiga percibida-RPE en varios deportes y actividades físicas y la fiabilidad de la escala como un predictor de rendimiento<sup>55–58</sup>.

Esta investigación es relevante aquí porque se ha demostrado en repetidas ocasiones que el valor de RPE es un limitador del esfuerzo mucho más directo que los factores fisiológicos que contribuyen a su cómputo. Sirva como ejemplo el estudio de Sgherza et al.<sup>59</sup> en el que utilizaron participantes entrenados para comparar la capacidad de realizar esfuerzo tras el suministro de naloxona (reductor del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ) o placebo. La conclusión del trabajo fue que, en situaciones de laboratorio, la máxima capacidad de trabajo de un individuo estaba limitada por su RPE. En esta misma línea, Pageaux et al.<sup>43</sup>, quienes trataban de comprobar si un esfuerzo mental prolongado reduciría el grado de activación muscular máxima e incrementaría la fatiga central inducida por un ejercicio posterior de resistencia, no encontraron un deterioro de la activación muscular que justificara el deterioro en la prueba de resistencia, concluyendo que la responsable solo podía ser la RPE. En este punto es importante matizar que, pese a las diferencias conceptuales entre «fatiga» y «percepción subjetiva del esfuerzo», y a falta de otros marcadores

fisiológicos o indicadores objetivos, hasta el momento la RPE parece ser el parámetro más fiable cuando se trata de predecir la capacidad general del deportista para mantener la actividad sin que se produzca un deterioro evidente del rendimiento.

El modelo general de la fatiga como percepción integrada de factores diversos es incompleto, pues no especifica qué factores psicológicos concretos contribuyen a la misma y cómo interactúan con los factores fisiológicos o cómo interactuarían con las características dependientes de tarea. Resulta obvio que un trabajo intelectual intenso, antes de o durante el ejercicio, afectará a la sensación de fatiga producida por este y, sin embargo, son muy escasos los trabajos que han intentado cuantificar y explicar el efecto de la carga mental en el esfuerzo físico percibido y su reflejo conductual. Ello a pesar de que muchas tareas cotidianas, y específicamente muchas tareas en la práctica del deporte, presentan esa doble naturaleza físico-cognitiva.

Por tanto, pese a que, como venimos describiendo, es bien conocido que los factores relacionados con la carga mental y otras características psicológicas de la tarea influyen en la respuesta de fatiga, aún se desconoce qué grado de influencia tienen sobre la aparición de la fatiga subjetiva. Según Hutchinson y Tenenbaum<sup>60</sup>, ya en 1973<sup>61,62</sup> se defendía que las respuestas fisiológicas constituyen aproximadamente dos tercios de la varianza en el esfuerzo percibido, y que diversos factores psicológicos serían responsables del tercio restante. Ello deja abierta la opción de que otras variables de carácter central (carga cognitiva, estado emocional y otros estados motivacionales) puedan modularla de forma directa<sup>50,63</sup>. St Clair Gibson et al.<sup>3</sup>, para defender esta hipótesis, aportan 3 observaciones diferentes: la primera es que la sensación de fatiga puede ser alterada mediante hipnosis<sup>64</sup>; en segundo lugar, que la sensación de fatiga está afectada por las expectativas de las demandas de la tarea, y finalmente que, en pacientes con síndrome de fatiga crónica, una excesiva y debilitante sensación de fatiga está presente durante el descanso, lo que significa que no está necesariamente vinculada con alteraciones en los niveles de actividad física.

Una cuestión fundamental es determinar en qué nivel las variables psicológicas y las fisiológicas, ya sean periféricas o centrales, interactúan. Tal y como hemos comentado, según St Clair Gibson et al.<sup>3</sup> la fatiga alcanzaría naturaleza consciente cuando la información sobre las alteraciones en el estado físico inducido por la actividad física produjera cambios en la actividad de una red neuronal (cuya localización exacta no especifica). Serían candidatas a formar parte de esta red aquellas de las que puedan demostrarse cambios de activación asociados con el desarrollo del conocimiento de la sensación de fatiga. Lo más importante, sin embargo, es que su funcionamiento debe verse también modulado por entradas no propioceptivas, como pueden ser factores psicológicos y motivacionales, que deben ser integradas junto con las primeras. En esa línea, un estudio realizado por Levine<sup>65</sup> le permitió concluir que «no hay duda de que la motivación es necesaria para conseguir el  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ ».

### Estrategias cognitivas para gestionar la fatiga

Son muchos los deportistas que emplean diversas estrategias cognitivas para influir en su rendimiento en competición, basadas en el manejo del malestar producido por el esfuerzo, retrasando la aparición de fatiga<sup>66</sup>. Algunas investigaciones han empleado la sugestión hipnótica para modificar selectivamente el nivel de esfuerzo percibido por parte de los participantes, con el fin de poder identificar las contribuciones potenciales de los centros superiores del cerebro hacia la regulación cardiorrespiratoria<sup>64</sup> y de otros mecanismos fisiológicos periféricos. Algunas de ellas han puesto de manifiesto que los procesos cognitivos pueden ejercer

cierta influencia en las variaciones provocadas a nivel perceptivo, e incluso metabólico, a través de dichas sugerencias hipnóticas<sup>67,68</sup>.

Distintos trabajos analizan la relación existente entre el esfuerzo percibido, los procesos cognitivos y los efectos que pueden tener sobre las tareas de resistencia<sup>69</sup>, generándose el desarrollo de estrategias cognitivas para su control<sup>70</sup>. En general estas han sido englobadas en 2 grandes tipos: asociativas y disociativas<sup>71–75</sup>. Con las primeras, el deportista se concentra en las señales que recibe de los cambios en su estado corporal como consecuencia del esfuerzo realizado<sup>61</sup>, mientras que las técnicas disociativas se basan en distraer al deportista con pensamientos o tareas mentales no relacionados con el esfuerzo realizado. El efecto distractor de estas técnicas se basa en hacer uso de los recursos atencionales para dejar en un nivel inconsciente el control de las sensaciones corporales.

Algunos de estos trabajos han centrado su interés en comprobar el grado de eficacia de las diferentes estrategias de procesamiento cognitivo para el rendimiento deportivo. Los primeros antecedentes<sup>61</sup> apuntan a que el nivel de rendimiento deportivo podría ejercer de mediador de la eficacia de las diferentes estrategias, ya que los deportistas de mayor nivel en pruebas de resistencia de larga duración tendían a utilizar preferentemente las estrategias asociativas, mientras que los de menor nivel, las disociativas.

Probablemente el primer trabajo que intentó comprobar este posible efecto con un diseño experimental fue el de González-Suárez<sup>71</sup>. Los resultados del experimento pusieron de manifiesto un mayor rendimiento (mayor tiempo de resistencia) cuando los sujetos corrieron hasta el agotamiento autoimpuesto haciendo uso de las estrategias de tipo asociativo. Igualmente, los de superior nivel deportivo se mantuvieron corriendo durante más tiempo que los sujetos de niveles inferiores. Las estrategias disociativas también produjeron una disminución en las percepciones de fatiga y de esfuerzo físico, mientras que las estrategias asociativas tendieron a aumentar la percepción de fatiga.

Por otro lado, Hutchinson y Tenenbaum<sup>60</sup> concluyen en su trabajo, en una prueba de resistencia en cicloergómetro al 50, al 70 y al 90% del  $\text{VO}_{2\text{máx}}$ , que la «focalización atencional fue predominantemente disociativa durante la fase de poca intensidad de la tarea, y giró hacia predominantemente asociativa a medida que la intensidad aumentaba»<sup>60</sup>. Esto parece indicar que el aumento de la intensidad del ejercicio incapacita al sujeto para abstraerse de las sensaciones corporales generadas por el ejercicio. En cualquier caso, tal como apuntan Díaz-Ocejo et al.<sup>69</sup>, los resultados en la actualidad no son concluyentes y aconsejan abordar la investigación contemplando otras posibles variables mediadoras del efecto de las distintas estrategias cognitivas.

### Mecanismos neurocognitivos de procesamiento de la fatiga

La información aferente que puede alterar el RPE es muy diversa (tabla 3), y está por dilucidar cómo el SNC la integra y elabora la sensación de fatiga. Por algunos estudios se conoce que las estructuras nerviosas implicadas podrían localizarse en el córtex insular, el

córtex cingulado anterior (región prefrontal medial) y las regiones talámicas<sup>76</sup>.

Aunque somos conscientes de que el esfuerzo percibido y la fatiga no son lo mismo, la realidad es que la fatiga derivada de la práctica de ejercicio físico o mental, o de ambos, cursa de forma paralela con el esfuerzo percibido por el sujeto.

Los estudios de Hilty et al.<sup>77</sup> evidenciaron una activación de la región insular media/anterior en la decisión de finalizar un ejercicio y la interpretaron como un mecanismo de alerta ante posibles desequilibrios homeostáticos. Igualmente, los resultados de un segundo estudio permitieron a estos autores<sup>78</sup> concluir que esta región del cerebro está en comunicación directa con el córtex motor e implicada en el procesamiento de pensamientos, emociones y sensaciones corporales, siendo la base de la consciencia emocional<sup>79,80</sup>, fundamentalmente para emociones negativas. Para Noakes<sup>36</sup>, los resultados de Hilty et al.<sup>77,79,80</sup> pueden ser una evidencia de la existencia de un gobernador central que regula la respuesta motora al *feedback* sensorial aferente.

Tanaka y Watanabe<sup>81</sup> consideran que la fatiga puede ser el resultado del balance entre influencias inhibitorias y facilitadoras del córtex motor. Concretamente, el sistema inhibitorio, en el que participan interconectados la médula espinal, el tálamo, el córtex somatosensorial secundario, el córtex insular medial, el córtex insular posterior, el córtex cingulado anterior, el área premotora, el área premotora suplementaria y el córtex motor primario, reduce la respuesta motora (fatiga supraespinal) a la información sensorial procedente de la periferia. Por el contrario, el sistema facilitador, que promueve el estado motivacional que incrementa la respuesta motora al sistema periférico, estaría compuesto por las siguientes estructuras interconectadas: sistema límbico, ganglios de la base, tálamo, córtex orbitofrontal, córtex prefrontal, córtex cingulado anterior, área premotora, área motora suplementaria y córtex motor primario.

Recientemente, Fontes et al.<sup>82</sup>, gracias a un cicloergómetro especialmente diseñado para poder realizar simultáneamente una resonancia magnética transcraneal, comprobaron las áreas del cerebro activadas durante un protocolo de esfuerzo pedaleando cuando los participantes percibían el esfuerzo con un valor por debajo de 15 en la escala de Borg y cuando su evaluación estimaba el esfuerzo por encima de este valor. Los resultados mostraron la activación del giro precentral y el vermis cerebelar durante la actividad de ciclismo moderado y del córtex cingulado posterior y precúneo en las fases de mayor esfuerzo percibido. Según recogen estos mismos autores, estas 2 regiones del cerebro juegan un papel importante en varias funciones ejecutivas y en el estado de alerta consciente. El precúneo ha sido asociado con determinados rasgos del comportamiento en tareas de alto nivel cognitivo<sup>83</sup>. El córtex cingulado parece desempeñar una función integradora de información sensorial, motora, visceral, motivacional y emocional<sup>84</sup>, siendo fundamentalmente activada la región posterior durante el fenómeno del pensamiento errante (*mind-wandering*), cuando los estímulos emocionales tienen una significación personal y en la regulación del ejercicio físico<sup>85</sup>.

Para Fontes et al.<sup>82</sup>, dado que la RPE está relacionada con el incremento de la función cardiorrespiratoria, la concentración de lactato y la actividad muscular, es posible que el córtex cingulado posterior y el precúneo puedan integrar la información sensorial para promover un control consciente y emocional durante el ejercicio.

No obstante, no están claros los procesos influyentes en el RPE. Obviamente, el ejercicio prolongado o intenso produce un número mayor de efectos sobre el organismo: acumulación de metabolitos, reducción del rendimiento cardíaco, microrroturas del tejido muscular, etc. Estos procesos acumulativos son numerosos e interactúan de una forma no lineal<sup>30,35,37,86</sup>, por lo que es comúnmente aceptado que el RPE resulta de una integración compleja de entradas de información de estos procesos al SNC. Aunque este principio

**Tabla 3**  
Información aferente que puede alterar el índice de esfuerzo percibido

Información aferente que puede alterar el índice de esfuerzo percibido	
Cardiopulmonar	Periférico/Metabólico
Frecuencia cardíaca	Nivel de lactato en sangre
Consumo de oxígeno	pH sanguíneo y muscular
Frecuencia respiratoria	Tensión mecánica
Frecuencia ventilatoria	Daño muscular
	Temperatura central
	Disponibilidad de los hidratos de carbono
	Temperatura de la piel

parece aparentemente indiscutible, en la actualidad no hay evidencias concluyentes que lo avalen. De acuerdo con Marcora<sup>87</sup>, el *feedback* aferente de los músculos esqueléticos, el corazón y los pulmones no contribuye significativamente a la RPE durante el ejercicio. De forma alternativa, existen vías neurales dentro del cerebro que comunican directamente las cortezas somatosensoriales y motoras, lo que permite una consciencia directa de los comandos motores centrales.

### Posible contribución de la carga mental a la fatiga

Entendemos la carga mental como el esfuerzo mental necesario para dar respuesta a los requerimientos de una tarea. La carga mental generada por la tarea va a depender de la cantidad de información y del nivel de procesamiento no automático que demanda esta información sobre el sistema cognitivo<sup>88</sup>. Por lo tanto, la carga mental requiere recursos de procesamiento y produce interferencias con otras tareas en el ejecutivo central, concretamente en la memoria de trabajo. Se entiende por memoria de trabajo el conjunto de estructuras y procesos cognitivos encargados de almacenar y, sobre todo, manipular y organizar la información para un uso inmediato<sup>89</sup>.

La carga mental siempre va a ser fruto del tipo de tarea, de la capacidad de los participantes y de las circunstancias<sup>90</sup>. Es importante tener esto presente, ya que toda carga mental va a presentar una dimensión cognitiva, que se refiere al esfuerzo cognitivo desarrollado por el ejecutivo central (memoria de trabajo), y una dimensión emocional, que se refiere al efecto emocional derivado de dicho esfuerzo, así como de la retroalimentación resultante de la realización de la tarea cognitiva.

La carga mental central puede presentar 2 posibles mecanismos de contribución a la aparición de la fatiga: uno sería fruto de una vía directa, entendiéndose esta como una vía de carácter neural, y otro fruto de una vía indirecta o de carácter metabólico. La vía directa se explicará por la conexión de los mecanismos ejecutivos implicados en la tarea de carga con el gobernador central encargado de gestionar la fatiga.

#### Vía neural o directa de la influencia carga mental-fatiga física

En las 2 últimas décadas el interés por investigar la contribución de los procesos de control emocional sobre la fatiga se ha visto notablemente incrementado por el descubrimiento del denominado efecto de la depleción del ego<sup>91,92</sup>, que se define como la disminución o el agotamiento de los recursos de un individuo para hacer frente a tareas que impliquen un esfuerzo de autocontrol, ya sea de la atención, cognitivo o emocional. Bajo este efecto un individuo que ha sido sometido a esfuerzos de autocontrol en una primera tarea vería deteriorado su rendimiento en una segunda que implicara este tipo de esfuerzo, aunque la naturaleza de la tarea fuera diferente.

Según el modelo energético del autocontrol (*strength model of self-control*), el ser humano tiene una capacidad limitada para desarrollar un esfuerzo orientado al control de respuestas dominantes automatizadas, de emociones, de pensamientos o de los impulsos más inmediatos. Como consecuencia, una vez invertido este tipo de esfuerzo, el individuo experimenta una reducción del rendimiento en tareas posteriores que exigen este mismo tipo de esfuerzos. Esta capacidad resulta ser imprescindible en la vida cotidiana en la medida en que posibilita dirigir la conducta hacia la consecución de objetivos concretos, demorando con ello la obtención de la recompensa. Carencias en este sentido podrían derivar en abusos alimentarios, en el consumo de sustancias perjudiciales para la salud, en responder de forma violenta a incidentes con otras personas, etc., y por ello es considerada como extremadamente adaptativa<sup>92,93</sup>. Como se puede comprender, el deporte, o la práctica de actividad

físico-deportiva, representan un contexto en el que la necesidad de autorregulación es constante y determinante para alcanzar un rendimiento óptimo. Casualmente, los promotores de este modelo basan sus hipótesis en la metáfora de la fuerza o energía, de tal modo que Hagger et al.<sup>92</sup> establecen 3 paralelismos bastante ilustrativos: a) la participación en tareas que demandan la capacidad para anticiparse al futuro implican ahorrar energía para el desarrollo de tales acciones futuras, al igual que por ejemplo un atleta dosifica el esfuerzo y la energía disponible para poder terminar la carrera; b) el entrenamiento en tareas que requieren autocontrol produce mejoras de esta capacidad<sup>94</sup>, de la misma forma que el músculo entrenado mejora su capacidad de fuerza o resistencia, y c) el descanso ayuda a regenerar el autocontrol de forma similar a como lo hace la fuerza del músculo tras un periodo adecuado de recuperación<sup>95</sup>.

El agotamiento de los recursos de autocontrol (*ego depletion*) encontró las primeras evidencias de apoyo científico en el trabajo de Baumeister et al.<sup>96,97</sup>. En un estudio en el que se dividió la muestra en grupo experimental y control, a los componentes del primero se les pidió que intentaran suprimir la reacción emocional producida por un fragmento de película de fuerte contenido afectivo, y a los del segundo, que expresaran libremente sus sentimientos. Los resultados en una tarea posterior de evaluación de la fuerza con dinamómetro mostraron un peor rendimiento de los participantes del grupo experimental. Posteriormente, este mismo efecto se ha manifestado en diferentes dimensiones o esferas en las que se requiere esta capacidad de autocontrol<sup>91</sup>: control del pensamiento, control de las emociones, control de impulsos, control de la atención, toma de decisiones y procesamiento social.

El principio fundamental de esta teoría es que existe un reservorio global común de energía y recursos que es independiente de la dimensión específica que sea agotada, lo que deja menos recursos disponibles para la realización de cualquier actividad posterior que requiera autocontrol. Aunque existen ciertas discrepancias en la interpretación de lo que debe ser considerada una tarea de autocontrol, al igual que en la interpretación de las causas que provocan el deterioro del rendimiento posterior<sup>98</sup>, los resultados encontrados muestran claras evidencias de que el deterioro del rendimiento en las tareas propias de los experimentos sobre el efecto de la depleción del ego coinciden con percepciones elevadas de fatiga, dificultad y esfuerzo.

Para nuestros intereses, lo más destacable de esta línea de investigación es que el efecto de la depleción de recursos ha sido comprobado sobre el rendimiento en tareas con requerimientos físicos<sup>99-102</sup> y en aquellas en las que de forma paralela se demandaban esfuerzos físicos y mentales<sup>103</sup>. Esta depleción de recursos demuestra la contribución de los esfuerzos mentales a la aparición de la fatiga. Olvidar esta contribución puede acarrear consecuencias nefastas desde el punto de vista práctico tanto en la planificación/programación del entrenamiento como en el control de las cargas durante el proceso. No obstante, muy recientemente, Xu et al.<sup>104</sup> cuestionan el efecto de la depleción del ego al no ser capaces de replicarlo en una investigación que abarcaba 4 estudios: 2 con población adulta y 2 con jóvenes entre 18 y 25 años. Estos datos nos mueven a la prudencia a expensas de investigaciones futuras que puedan clarificar el origen de tales discrepancias.

En este mismo sentido, Inzlicht et al.<sup>105</sup> cuestionan la interpretación de los resultados encontrados hasta el momento en las investigaciones sobre el modelo energético del autocontrol. Si bien los defensores de esta teoría entienden el autocontrol como una capacidad limitada de recursos que puede estar mediada por el consumo de glucosa, los citados autores defienden que son factores motivacionales los que juegan un papel fundamental en el proceso. La primera crítica recae en el hecho de que la mayoría de los estudios no observan la depleción de los recursos directamente, sino a través del rendimiento en la tarea, lo que conlleva interpretaciones teóricas del efecto. La segunda se basa en que, a pesar de que se ha



intentado asociar la depleción de recursos a un mayor consumo de glucosa con cierto éxito<sup>106</sup>, estudios recientes en los que la tecnología empleada para su análisis es altamente precisa también han fallado en la réplica del efecto<sup>107</sup>.

Inzlicht et al. plantean una explicación alternativa basada en los cambios motivacionales fruto del desequilibrio en la relación coste/beneficio<sup>98</sup>, deber/placer, explotación/exploración, es decir, en el desequilibrio entre la motivación por implicarse en tareas que conllevan el «tener que» en favor de una mayor motivación por implicarse en tareas que implican «querer hacerlo». Para estos autores, sencillamente, la depleción aviva los «deseos» y, por tanto, debe ser entendida como un cambio en las motivaciones que conlleva emparejado un cambio en el foco atencional y en las emociones.

#### *Vía metabólica o indirecta de la influencia carga mental-fatiga física*

La otra vía que podría explicar la contribución de la carga mental a la aparición de la fatiga es la vía metabólica o indirecta. Esta haría alusión a la depleción de recursos energéticos producida por el trabajo intelectual intensivo, que a su vez provocaría la disminución de su disponibilidad en el riego sanguíneo (glucosa y oxígeno fundamentalmente) y, por tanto, una competición por ellos entre el cerebro y el sistema musculoesquelético.

Como se ha comentado anteriormente, son diversos los estudios que demuestran que aproximadamente el 20-30% del consumo de glucosa se invierte en satisfacer las necesidades del cerebro<sup>108</sup>. De hecho, el cerebro no tiene la capacidad de almacenamiento de sustratos de energía y el proceso de degradación aeróbica de la glucosa es completamente dependiente de un suministro constante del oxígeno y la glucosa a través del torrente sanguíneo<sup>21</sup>. Estudios recientes apoyan la opinión de que las fluctuaciones de la glucemia pueden ejercer una influencia significativa en el rendimiento cognitivo. Donohoe y Benton<sup>109</sup> defienden que el efecto del aumento de las demandas cognitivas provoca una absorción acelerada de glucosa. Más específicamente<sup>110</sup>, informaron de una caída de los niveles de glucemia y la aceleración de la tasa cardíaca durante el desempeño de tareas exigentes. Este hallazgo dio lugar a una hipótesis provisional: que la aceleración del ritmo cardíaco, bajo alta demanda cognitiva, representa un posible mecanismo para agilizar el transporte de glucosa al cerebro.

Por otra parte, Gailliot et al.<sup>106,111</sup> encontraron evidencias de que la glucemia puede ser el mecanismo responsable para la depleción de los recursos de autocontrol. Estos trabajos demostraron que el efecto de depleción del ego coincide con una caída de la glucemia y que el aporte de glucosa atenúa el efecto en relación con la ingesta de placebo<sup>106,112-115</sup>. Sin embargo, tal como hemos analizado anteriormente, han sido varios los trabajos de investigación que no han podido replicar este efecto de un mayor consumo de glucosa en las tareas de autocontrol<sup>107</sup>. Por tanto, la glucosa puede ser relevante para el autocontrol, aunque no esté clara la manera en que puede contribuir a mejorar el rendimiento en tareas de este tipo. Además, tal como defiende Conde-González<sup>50</sup>, no parece que ninguno de los 2 mecanismos pueda ser completamente descartado, encontrando las 2 vías apoyo en su estudio.

#### **Repercusiones para la planificación y el control del entrenamiento deportivo**

La planificación supone una propuesta teórica que implica conocimiento de las exigencias de la modalidad deportiva, previsión y elección del método, medios de entrenamiento, estrategias de intervención y control del proceso y los resultados en términos de aprendizaje o rendimiento, para comprobar su efectividad y realizar los ajustes pertinentes. Nuestra forma de entender la

planificación en los deportes de equipo nos lleva a conceder una gran importancia al modelo o estilo de juego desarrollado. De esta manera, la observación del comportamiento motor del jugador durante el desarrollo del modelo de juego permitirá detectar las verdaderas carencias táctico-técnicas, físicas o psicológicas que le impiden realizar sus funciones con la máxima eficacia. Una vez detectadas estas carencias, tendremos que diseñar estímulos de entrenamiento que generen una ruptura de la homeostasis del organismo y provoquen respuestas adaptativas del deportista. Para ello es importante considerar al organismo como un todo y no como el sumatorio de sus partes. Siguiendo este argumento, resulta imprescindible considerar las demandas tanto fisiológicas como cognitivas o emocionales de las tareas de entrenamiento.

Los modelos de planificación vigentes se construyen sobre el diseño de estímulos que atienden prioritariamente al concepto de carga fisiológica, centrándose en el entrenamiento físico y excluyendo las connotaciones cognitivas o psicológicas que, inevitablemente, tiene la intervención didáctica del entrenador, el propio diseño de las tareas o el contexto/situación en la que se encuentre el equipo (posición en la tabla, últimos resultados obtenidos, etc.)<sup>4</sup>. Desde esta visión reduccionista y, a nuestro parecer, desprovista de parte de su sentido, se concibe el estímulo desde una perspectiva exclusivamente cuantitativa (volumen e intensidad), despreciando el análisis cualitativo y específico. No podemos obviar que una de las características más importantes de este proceso de adaptación, al que denominamos entrenamiento, no es otra que la transformación de las características cualitativas de los estímulos externos que actúan sobre las características internas del organismo<sup>116</sup>. Resulta imprescindible considerar el componente cognitivo y psicológico de la carga introduciendo la carga mental en la planificación del entrenamiento como variable que contribuye a modular los efectos de la carga física. Conde-González<sup>50</sup> ha evidenciado la influencia que genera la carga mental (en sus dimensiones cognitiva y emocional) sobre la RPE y sobre alguno de los parámetros fisiológicos ( $\text{VO}_2$ ), determinantes en la aparición y acumulación de fatiga. Esto nos lleva a considerar, como aplicación práctica general, la necesidad de contemplar la carga mental en la planificación del entrenamiento para evitar desajustes graves. La carga mental también puede influir sobre los procesos de recuperación tras el entrenamiento o competición, pese a lo cual rara vez se toman medidas para la recuperación mental y emocional.

Toda la investigación desarrollada para calcular los periodos de recuperación se ha basado en la repercusión física que estas cargas generan en el organismo, sin contemplar las posibles interacciones con la carga mental, aspecto que, según se desprende de nuestro estudio<sup>50,63,99</sup>, podría modificar sustancialmente estos resultados.

#### *En relación con la distribución de los contenidos de entrenamiento*

De la misma forma que la acumulación de la carga física a lo largo del entrenamiento provoca la aparición de la fatiga y el deterioro del rendimiento, el efecto acumulado de la carga mental contribuye a la aparición de fatiga, y esta a la disminución del rendimiento físico y motor<sup>117</sup>. Por esta razón, en las sesiones de entrenamiento en que el objetivo se centre en el aprendizaje de nuevas conductas de juego, de respuestas motrices de alto nivel coordinativo, de aspectos tácticos con altas exigencias cognitivas, o demande un alto nivel de autocontrol emocional o de concentración, las tareas que lo persiguen se ubicarán en la parte inicial de la sesión, cuando el deportista tiene disponible la mayor parte de sus recursos fisiológicos, cognitivos y psicológicos<sup>118</sup>.

No obstante, cuando el objetivo no sea la adquisición de nuevos esquemas motores sino la puesta en práctica de acciones y conductas de juego consolidadas, las actividades centradas en su desarrollo se ubicarán en la fase final de la sesión de entrenamiento, justo cuando la acumulación de la carga física y mental derivan en un

estado de fatiga que demanda autocontrol del deportista. Esto es, situaríamos la ejecución de esas conductas en el entrenamiento en el lugar que simula más fielmente las situaciones en las que esas conductas tendrán que desplegarse en la competición real.

Si centramos el análisis en la distribución de los contenidos a lo largo de un microciclo, por ejemplo, el de un equipo que compite durante el fin de semana, las actividades de entrenamiento que suponen por un lado un mayor esfuerzo físico y por otro un mayor autocontrol cognitivo o emocional deberían ubicarse en la primera parte (de lunes a miércoles), reduciendo la magnitud de las cargas en los días previos a competir para dejar el tiempo necesario que garantice la recuperación o supercompensación del deportista<sup>118</sup>. En este sentido, la evaluación del rendimiento del deportista, o control del proceso de entrenamiento, que resulta tan aconsejable como medio para estimular los aprendizajes, debe alejarse de la competición, pues como señala Buceta<sup>119</sup>, puede generar estrés que se sumaría al que ya produce la propia competición.

#### *En relación con la adecuación de las cargas de entrenamiento*

Tradicionalmente, la preocupación por controlar el efecto de las cargas del entrenamiento sobre los deportistas ha impulsado a los técnicos en el ámbito práctico, y a los investigadores en el científico, a intentar identificar indicadores fiables de fatiga. Aunque el constante desarrollo tecnológico es prometedor, la evidencia demuestra que escalas subjetivas como la de Borg<sup>51</sup> son sensibles al esfuerzo invertido y se convierten en una herramienta de enorme utilidad para obtener información y regular las cargas de entrenamiento. No obstante, es imprescindible proporcionar a los deportistas un periodo de comprensión, familiarización y calibrado de las escalas antes de conceder credibilidad a sus resultados. Desgraciadamente, esta práctica es poco habitual.

Por otra parte, a la hora de evaluar la carga no hay que dar por descontado que toda fuente de carga física, mental o emocional va a ser fielmente recogida por un solo indicador (p. ej., la puntuación RPE en la escala de Borg). Existen otras escalas visuales de fácil aplicación que permiten monitorizar de forma específica elementos emocionales y cognitivos del entrenamiento (SAM<sup>120</sup>, NASA-TLX<sup>121,122</sup>). La investigación más reciente sugiere que esas dimensiones pueden tener un efecto propio sobre el impacto del entrenamiento y la adherencia al mismo<sup>123</sup>.

#### *En relación con el diseño de las tareas de entrenamiento*

Los antecedentes nos llevan a establecer 2 grandes objetivos para el proceso de entrenamiento: retrasar la aparición de la fatiga y mejorar la capacidad para atenuar el impacto que pudiera tener sobre el rendimiento deportivo. Para conseguir el primero de ellos es determinante la aplicación de los principios del entrenamiento, orientados a provocar la adaptación progresiva del organismo al estrés<sup>4</sup>. En este sentido, es importante recordar la contribución de los procesos psicológicos al estado de fatiga y, como consecuencia, diseñar las actividades o tareas de entrenamiento táctico-técnico de tal forma que se estimule igualmente la capacidad adaptativa para afrontar situaciones percibidas como estresantes. La capacidad psicológica del deportista para soportar estados emocionales adversos es tan entrenable como la que permite correr más rápido o saltar más alto. Por todo ello, el modelado de las condiciones que generan estados emocionales que pueden afectar negativamente al rendimiento en competición debe programarse atendiendo igualmente a los principios fundamentales del entrenamiento. En un deporte de equipo, los errores en competición tienen consecuencias tan evidentes para el jugador, que pueden llegar a generar estrés somático y cognitivo. Si bien hay técnicas psicológicas que ayudan a atenuarlo y a minimizar el efecto sobre el rendimiento, somos partidarios de inocular progresivamente estos estados para provocar

la mejora de las habilidades psicológicas de afrontamiento<sup>4,124,125</sup>. En conclusión, las tareas deberían contemplar las dosis adecuadas de estrés que estimularan la mejora de los mecanismos tanto fisiológicos como psicológicos del deportista. Obviamente, la programación de estas estrategias que se vinculan con el propio diseño de las tareas no resta importancia a las que tradicionalmente han formado parte del programa de entrenamiento que los psicólogos del deporte han desarrollado para la mejora de las habilidades psicológicas. Nuestra intención es dejar constancia de la necesidad de que dichos profesionales contribuyan al enriquecimiento de dicho programa al participar, junto con los entrenadores, en el diseño de escenarios de práctica que, partiendo de las demandas motrices, generen de manera gradual estados emocionales adversos que provoquen la adaptación del deportista y estimulen con ello la mejora de la capacidad de afrontamiento.

### **Responsabilidades éticas**

**Protección de personas y animales.** Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

**Confidencialidad de los datos.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

**Derecho a la privacidad y consentimiento informado.** Los autores declaran que en este artículo no aparecen datos de pacientes.

### **Financiación**

El Dr. D. Cárdenas Vélez pertenece a la producción del proyecto de investigación DEP2013-48211-R, financiado por el Ministerio de Economía y Competitividad, correspondiente al Plan Nacional de Investigación I+D+I en la convocatoria de Retos a la Sociedad. Igualmente, dicho proyecto ha recibido cofinanciación del Centro Mixto UGR-MADOC bajo la denominación PIN 11.

### **Conflicto de intereses**

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

### **Agradecimientos**

Los autores quieren hacer constar su agradecimiento a los doctores Jonatan Ruiz Ruiz y Juan de Dios Beas Jiménez por sus valiosas contribuciones para la mejora del texto.

### **Bibliografía**

1. Mousseau MB. The onset of cognitive fatigue on simulated sport performance [Master degree thesis]. University of Florida; 2004.
2. Abbiss CR, Laursen PB. Models to explain fatigue during prolonged endurance cycling. *Sports Med*. 2005;35(10):865–98.
3. St Clair Gibson A, Baden DA, Lambert MI, Lambert EV, Harley YX, Hampson D, et al. The conscious perception of the sensation of fatigue. *Sports Med*. 2003;33(3):167–76.
4. Cárdenas D, Conde-González J, Perales JC. El papel de la carga mental en la planificación del entrenamiento deportivo. *Rev Psicol Deporte*. 2015;24(1):91–100.
5. Ament W, Verkerke GJ. Exercise and fatigue. *Sports Med*. 2009;39(5):389–422.
6. Berger PJ, McCutcheon L, Soust M, Walker AM, Wilkinson MH. Electromyographic changes in the isolated rat diaphragm during the development of fatigue. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;62(5):310–6.
7. Aaronson LS, Teel CS, Cassmeyer V, Neuberger GB, Pallikkathayil L, Pierce J, et al. Defining and measuring fatigue. *Image J Nurs Sch*. 1999;31(1):45–50.
8. Bigland-Ritchie B, Cafarelli E, Vøllestad NK. Fatigue of submaximal static contractions. *Acta Physiol Scand Suppl*. 1986;556:137–48.
9. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev*. 2011;81(4):1725–89.
10. Vøllestad NK. Measurement of human muscle fatigue. *J Neurosci Methods*. 1977;74(2):219–27.

11. López-Chicharro J, Fernández-Vaquero A. Fisiología del ejercicio. 3.<sup>a</sup> ed. Madrid: Médica Panamericana; 2006.
12. Barbany JR. Fundamentos de fisiología del ejercicio y del entrenamiento. Barcelona: Barcanova; 2002.
13. Brooks GA. Anaerobic threshold: Review of the concept and directions for future research. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;17(1):22–34.
14. Heck H, Mader A, Hess G, Mücke S, Müller R, Hollmann W. Justification of the 4 mmol/l lactate threshold. *Int J Sports Med.* 1985;6(3):117–30.
15. Coyle EF, Coggan AR, Hemmert MK, Ivy JL. Muscle glycogen utilization during prolonged strenuous exercise when fed carbohydrate. *J Appl Physiol.* 1986;61(1):165–72.
16. McArdle WD, Katch FI, Katch VL, editores. *Exercise physiology: Energy III and human performance.* 4th ed. Baltimore: Williams & Wilkins; 1996.
17. Powers SK, Howley ET, editores. *Exercise physiology: Theory and application to fitness and performance.* 2nd ed. Madison and Dubuque: WCB Brown & Benchmark Publishers; 1994.
18. Di Prampero PE. Energetics of muscular exercise. *Rev Physiol Biochem Pharmacol.* 1981;89:143–222.
19. Nielsen B, Nybo L. Cerebral changes during exercise in the heat. *Sports Med.* 2003;33(1):1–11.
20. Nybo L, Nielsen B. Hyperthermia and central fatigue during prolonged exercise in humans. *J Appl Physiol.* 2001;91(3):1055–60.
21. Scholey A. Fuel for thought. *Psychologist.* 2001;14(4):196–201.
22. Millar NC, Homsher E. Kinetics of force generation and phosphate release in skinned rabbit soleus muscle fibers. *Am J Physiol.* 1992;262(5 Pt 1):C1239–45.
23. Stienen GJ, Roosemalen MC, Wilson MG, Elzinga G. Depression of force by phosphate in skinned skeletal muscle fibers of the frog. *Am J Physiol.* 1990;259(2 Pt 1):C349–57.
24. Potma EJ, van Graas IA, Stienen GJ. Influence of inorganic phosphate and pH on ATP utilization in fast and slow skeletal muscle fibres. *Biophys J.* 1995;69(6):2580–9.
25. Potma EJ, Stienen GJ. Increase in ATP consumption during shortening in skinned fibers from rabbit psoas muscle: Effects of inorganic phosphate. *J Physiol.* 1996;496(Pt 1):1–12.
26. Cooke R, Pate E. The effects of ADP and phosphate on the contraction of muscle fibers. *Biophys J.* 1985;48(5):789–98.
27. Metzger JM. Effects of phosphate and ADP on shortening velocity during maximal and submaximal calcium activation of the thin filament in skeletal muscle fibers. *Biophys J.* 1996;70(1):409–17.
28. Allen DG, Lamb GD, Westerblad H. Skeletal muscle fatigue: cellular mechanisms. *Physiol Rev.* 2008;88(1):287–332.
29. Kayser B. Exercise starts and ends in the brain. *Eur J Appl Physiol.* 2003;90(3–4):411–9.
30. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2000;10(3):123–45.
31. Noakes TD, Peltonen JE, Rusko HK. Evidence that a central governor regulates exercise performance during acute hypoxia and hyperoxia. *J Exp Biol.* 2001;204(Pt 18):3225–34.
32. Walsh ML. Whole body fatigue and critical power: A physiological interpretation. *Sports Med.* 2000;29(3):153–66.
33. Fobes JL. The cognitive psychobiology of performance regulation. *J Sports Med Phys Fitness.* 1989;29(2):202–8.
34. Noakes TD, St Clair Gibson A. Logical limitation to the catastrophe models of fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med.* 2004;38(5):648–9.
35. Noakes TD. The central governor model of exercise regulation applied to the marathon. *Sports Med.* 2007;37(4–5):374–7.
36. Noakes TD. Fatigue is a brain-derived emotion that regulates the exercise behavior to ensure the protection of whole body homeostasis. *Front Physiol.* 2012;3:82.
37. Ulmer HV. Concept of an extracellular regulation of muscular metabolic rate during heavy exercise in humans by psychophysiological feedback. *Experientia.* 1996;52(5):416–20.
38. Mosso A. *Fatigue.* London: Allen & Unwin Ltd; 1915.
39. Hill AV, Long CNH, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. Parts VII–VIII. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 1924;97:155–76.
40. Hill AV, Long CNH, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. Parts I–III. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 1924;96:438–75.
41. Hill AV, Long CNH, Lupton H. Muscular exercise, lactic acid and the supply and utilization of oxygen. Parts IV–VI. *Proc R Soc Lond B Biol Sci.* 1924;97:84–138.
42. Lambert EV, St Clair Gibson A, Noakes TD. Complex systems model of fatigue: Integrative homeostatic control of peripheral physiological systems during exercise in humans. *Br J Sports Med.* 2005;39(1):52–62.
43. Pageaux B, Marcora SM, Lepers R. Prolonged mental exertion does not alter neuromuscular function of the knee extensors. *Med Sci Sports Exerc.* 2013;45(12):2254–64.
44. Bol Y, Duits AA, Hupperts RM, Vlaeyen JW, Verhey FR. The psychology of fatigue in patients with multiple sclerosis: A review. *J Psychosom Res.* 2009;66(1):3–11.
45. Shephard RJ. Is the measurement of maximal oxygen intake passé? *Br J Sports Med.* 2009;43(2):83–5.
46. Shephard RJ. Maximal oxygen intake and independence in old age. *Br J Sports Med.* 2009;43(5):342–6.
47. Weir JP, Beck TW, Cramer JT, Housh TJ. Is fatigue all in your head? A critical review of the central governor model. *Br J Sports Med.* 2006;40(7):573–86.
48. Marcora SM. Do we really need a central governor to explain brain regulation of exercise performance? *Eur J Appl Physiol.* 2008;104(5):929–31.
49. Impellizzeri FM, Rampinini E, Coutts AJ, Sassi A, Marcora SM. Use of RPE-based training load in soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(6):1042–7.
50. Conde-González J. La interacción de la carga de trabajo física y mental en la percepción de la fatiga física durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento [tesis doctoral]. Granada: Universidad de Granada; 2011.
51. Borg GA. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med Sci Sports Exerc.* 1982;14(5):377–81.
52. Borg GA. Ratings of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test. *Int J Sports Med.* 1982;3(3):153–8.
53. Noble BJ, Borg GA, Jacobs I, Ceci R, Kaiser P. A category-ratio perceived exertion scale: Relationship to blood and muscle lactates and heart rate. *Med Sci Sports Exerc.* 1983;15(6):523–8.
54. Pandolf KB, Billings DS, Drolet LL, Pimental NA, Sawka MN. Differential ratings of perceived exertion and various physiological responses during prolonged upper and lower body exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1984;53(1):5–11.
55. Coutts AJ, Rampinini E, Marcora SM, Castagna C, Impellizzeri FM. Heart rate and blood lactate correlates of perceived exertion during small-sided soccer games. *J Sci Med Sport.* 2009;12(1):79–84.
56. Eston R, Evans HJ. The validity of submaximal ratings of perceived exertion to predict one repetition maximum. *J Sports Sci Med.* 2009;8(4):567–73.
57. Noakes TD. Rating of perceived exertion as a predictor of the duration of exercise that remains until exhaustion. *Br J Sports Med.* 2008;42(7):623–4.
58. Robertson RJ, Goss FL, Aaron DJ, Gairola A, Kowallis RA, Liu Y, et al. One repetition maximum prediction models for children using the OMNI RPE Scale. *J Strength Cond Res.* 2008;22(1):196–201.
59. Sgherza AL, Axen K, Fain R, Hoffman RS, Dunbar CC, Haas F. Effect of naloxone on perceived exertion and exercise capacity during maximal cycle ergometry. *J Appl Physiol.* 2002;93(6):2023–8.
60. Hutchinson JC, Tenenbaum G. Attention focus during physical effort: The mediating role of task intensity. *Psychol Sport Exerc.* 2007;8(2):233–45.
61. Morgan WP, Pollock ML. Psychologic characterization of the elite distance runner. *Ann N Y Acad Sci.* 1977;301:382–403.
62. Noble BJ, Metz KF, Pandolf KB, Cafarelli E. Perceptual responses to exercise: A multiple regression study. *Med Sci Sports.* 1973;5(2):104–9.
63. Sánchez-Delgado G, Conde-González J, Cárdenas D, Perales JC, Piñar I, De Teresa-Galván C, et al. La interacción de la carga física y mental en la percepción del esfuerzo durante y después de un ejercicio físico hasta el agotamiento en tapiz rodante. III Congreso Nacional y I Foro Mediterráneo de Psicología de la Actividad Física y el Deporte. Murcia: 20 al 31 de marzo de 2012.
64. Williamson JW, McColl R, Mathews D, Mitchell JH, Raven PB, Morgan WP. Hypnotic manipulation of effort sense during dynamic exercise: Cardiovascular responses and brain activation. *J Appl Physiol.* 2001;90(4):1392–9.
65. Levine BD. VO<sub>2</sub> max: What do we know, and what do we still need to know? *J Physiol.* 2008;586(1):25–34.
66. Morgan WP, Horstman DH, Cymerman A, Stokes J. Facilitation of physical performance by means of a cognitive strategy. *Cognit Ther Res.* 1983;7(3):251–64.
67. Morgan WP. Psychological factors influencing perceived exertion. *Med Sci Sports.* 1973;5(2):97–103.
68. Morgan WP, Hirta K, Weitz GA, Balke B. Hypnotic perturbation of perceived exertion: Ventilatory consequences. *Am J Clin Hypn.* 1976;18(3):182–90.
69. Díaz-Ocejo J, Mora-Mérida JA, Chapado F. Análisis de las estrategias cognitivas en la resistencia dinámica. *Rev Int Med Cienc Act Fis Deporte.* 2009;9(34):114–39.
70. Weinberg RS, Gould D. *Foundations of sport and exercise psychology.* 3rd ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003.
71. González-Suárez AM. Procesamiento cognitivo en la actividad deportiva de resistencia. *Rev Psicol Deporte.* 1996;5(2):7–18.
72. Bueno J, Capdevila L, Fernández-Castro J. Sufrimiento competitivo y rendimiento en deportes de resistencia. *Rev Psicol Deporte.* 2002;11(2):209–26.
73. Balagué N, Hristovski R, Aragonés D, Tenenbaum G. Nonlinear model of attention focus during accumulated effort. *Psychol Sport Exerc.* 2012;13(5):591–7.
74. Balagué N, Aragonés D, Hristovski R, García S, Tenenbaum G. El foco de atención emerge espontáneamente durante el ejercicio progresivo y máximo. *Rev Psicol Deporte.* 2014;23(1):57–63.
75. Tenenbaum G, Connolly CT. Attention allocation under varied workload and effort perception in rowers. *Psychol Sport Exerc.* 2008;9(5):704–17.
76. Williamson JW, Fadel PJ, Mitchell JH. New insights into central cardiovascular control during exercise in humans: A central command update. *Exp Physiol.* 2006;91(1):51–8.
77. Hilty L, Jäncke L, Luechinger R, Boutellier U, Lutz K. Limitation of physical performance in a muscle fatiguing handgrip exercise is mediated by thalamo-insular activity. *Hum Brain Mapp.* 2011;32(12):2151–60.
78. Hilty L, Langer N, Pascual-Marqui R, Boutellier U, Lutz K. Fatigue-induced increase in intracortical communication between mid/anterior insular and motor cortex during cycling exercise. *Eur J Neurosci.* 2011;34(12):2035–42.
79. Oosterwijk S, Lindquist KA, Anderson E, Dautoff R, Moriguchi Y, Barrett LF. States of mind: Emotions, body feelings, and thoughts share distributed neural networks. *Neuroimage.* 2012;62(3):2110–28.
80. Zaki J, Davis JL, Ochsner KN. Overlapping activity in anterior insula during interoception and emotional experience. *Neuroimage.* 2012;62(1):493–9.
81. Tanaka M, Watanabe Y. Supraspinal regulation of physical fatigue. *Neurosci Biobehav Rev.* 2012;36(1):727–34.



82. Fontes EB, Okano AH, de Guio F, Schabert EJ, Min LL, Basset FA, et al. Brain activity and perceived exertion during cycling exercise: An fMRI study. *Br J Sports Med*. 2015;49(8):556–60.
83. Vogt BA, Laureys S. Posterior cingulate, precuneal and retrosplenial cortices: Cytology and components of the neural network correlates of consciousness. *Prog Brain Res*. 2005;150:205–17.
84. Vogt B, editor. *Cingulate neurobiology and disease*. New York: Oxford University Press; 2009.
85. Mason MF, Norton MI, van Horn JD, Wegner DM, Grafton ST, Macrae CN. Wandering minds: The default network and stimulus-independent thought. *Science*. 2007;315(5810):393–5.
86. Pinniger GJ, Steele JR, Groeller H. Does fatigue induced by repeated dynamic efforts affect hamstring muscle function? *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32(3):647–53.
87. Marcora S. Perception of effort during exercise is independent of afferent feedback from skeletal muscles, heart, and lungs. *J Appl Physiol*. 2009;106(6):2060–2.
88. Kahneman D. *Thinking fast and slow*. New York: Farrar, Strauss y Giroux; 2011.
89. Baddeley A. Working memory. *Science*. 1992;255(5044):556–9.
90. Paas F, Tuovinen JE, Tabbars H, van Gerven PWM. Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educ Psychol*. 2003;38(1):63–71.
91. Baumeister RF, Vohs KD, Tice DM. The strength model of self-control. *Curr Dir Psychol Sci*. 2007;16(6):351–5.
92. Hagger MS, Wood C, Stiff S, Chatzisarantis NL. Ego depletion and the strength model of self-control: A meta-analysis. *Psychol Bull*. 2010;136(4):495–525.
93. Baumeister RF. *The cultural animal: Human nature, meaning, and social life*. New York: Oxford University Press; 2005.
94. Hui SKA, Wright RA, Stewart CC, Simmons A, Eaton B, Nolte RN. Performance, cardiovascular, and health behavior effects of an inhibitory strength training intervention. *Motiv Emotion*. 2009;33:419–34.
95. Oaten M, Williams KD, Jones A, Zadro L. The effects of ostracism on self-regulation in the socially anxious. *J Soc Clin Psychol*. 2008;27(5):471–504.
96. Baumeister RF, Bratslavsky E, Muraven M, Tice DM. Ego depletion: Is the active self a limited resource? *J Pers Soc Psychol*. 1998;74(5):1252–65.
97. Muraven M, Baumeister RF, Tice DM. Longitudinal improvement of self-regulation through practice: Building self-control strength through repeated exercise. *J Soc Psychol*. 1999;139(4):446–57.
98. Kurzban R, Duckworth A, Kable JW, Myers J. An opportunity cost model of subjective effort and task performance. *Behav Brain Sci*. 2013;36(6):661–79.
99. Marcora SM, Staiano W, Manning V. Mental fatigue impairs physical performance in humans. *J Appl Physiol*. 2009;106(3):857–64.
100. Stults-Kolehmainen MA, Bartholomew JB. Psychological stress impairs short-term muscular recovery from resistance exercise. *Med Sci Sports Exerc*. 2012;44(11):2220–7.
101. Bray SR, Graham JD, Martin Ginis KA, Hicks AL. Cognitive task performance causes impaired maximum force production in human hand flexor muscles. *Biol Psychol*. 2012;89(1):195–200.
102. Smith MR, Marcora SM, Coutts AJ. Mental fatigue impairs intermittent running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2015;47(8):1682–90.
103. Cárdenas D, Perales JC, Chiroso LJ, Conde J, Aguilar D, Araya S. The effect of mental workload on the intensity and emotional dynamics of perceived exertion. *An Psicol (Spain)*. 2013;29(3):662–73.
104. Xu X, Demos KE, Leahey TM, Hart CN, Trautvetter J, Coward P, et al. Failure to replicate depletion of self-control. *PLoS One*. 2014;9(10):e109950.
105. Inzlicht M, Schmeichel BJ, Macrae CN. Why self-control seems (but may not be) limited. *Trends Cogn Sci*. 2014;18(3):127–33.
106. Gailliot MT, Baumeister RF, DeWall CN, Maner JK, Plant EA, Tice DM, et al. Self-control relies on glucose as a limited energy source: Willpower is more than a metaphor. *J Pers Soc Psychol*. 2007;92(2):325–36.
107. Molden DC, Hui CM, Scholer AA, Meier BP, Noreen EE, D'Agostino PR, et al. Motivational versus metabolic effects of carbohydrates on self-control. *Psychol Sci*. 2012;23(10):1137–44.
108. Benton D, Parker PY, Donohoe RT. The supply of glucose to the brain and cognitive functioning. *J Biosoc Sci*. 1996;28(4):463–79.
109. Donohoe RT, Benton D. Cognitive functioning is susceptible to the level of blood glucose. *Psychopharmacology*. 1999;145(4):378–85.
110. Kennedy DO, Scholey AB. Glucose administration, heart rate and cognitive performance: Effects of increasing mental effort. *Psychopharmacology*. 2000;149(1):63–71.
111. Gailliot MT, Baumeister RF. The physiology of willpower: Linking blood glucose to self-control. *Pers Soc Psychol Rev*. 2007;11(4):303–27.
112. Dewall CN, Baumeister RF, Gailliot MT, Maner JK. Depletion makes the heart grow less helpful: Helping as a function of self-regulatory energy and genetic relatedness. *Pers Soc Psychol Bull*. 2008;34(12):1653–62.
113. Dvorak RD, Simons JS. Moderation of resource depletion in the self-control strength model: Differing effects of two modes of self-control. *Pers Soc Psychol Bull*. 2009;35(5):572–83.
114. Gailliot MT, Peruche BM, Plant EA, Baumeister RF. Stereotypes and prejudice in the blood: Sucrose drinks reduce prejudice and stereotyping. *J Exp Soc Psychol*. 2009;45(1):288–90.
115. Masicampo EJ, Baumeister RF. Toward a physiology of dual-process reasoning and judgment: Lemonade, willpower, and expensive rule-based analysis. *Psychol Sci*. 2008;19(3):255–60.
116. Oliveira B, Amieiro N, Resende N, Barreto R, Mourinho: *Porquê tantas vitórias?* Lisboa: Gradiva; 2006.
117. Englert C, Bertrams A, Furley P, Oudejans RR. Is ego depletion associated with increased distractibility? Results from a basketball free throw task. *Psychol Sport Exerc*. 2015;18:26–31.
118. Cárdenas D, Perales JC, Alarcón FJ. La planificación del entrenamiento para la toma de decisiones en los deportes de equipo. En: Del Villar F, García L, editores. *El entrenamiento táctico y decisional en el deporte*. Madrid: Síntesis; 2015. p. 264–89.
119. Buceta JM. *Psicología del entrenamiento deportivo*. Madrid: Dykinson; 1998.
120. Bradley MM, Lang PJ. Measuring emotion: The self-assessment manikin and the semantic differential. *J Behav Ther Exp Psychiatry*. 1994;25(1):49–59.
121. Hart SG, Staveland LE. Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research. En: Hancock PA, Meshkati N, editores. *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press; 1988.
122. De Arquer MI, Nogareda C. NTP 544: Estimación de la carga mental del trabajo: el Método NASA-TLX. Madrid: Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo, Ministerio de Trabajo y Seguridad Social del Gobierno de España; 2000.
123. Ekkekakis P, Parfitt G, Petruzzello SJ. The pleasure and displeasure people feel when they exercise at different intensities: Decennial update and progress towards a tripartite rationale for exercise intensity prescription. *Sports Med*. 2011;41(8):641–71.
124. Márquez S. Estrategias de afrontamiento del estrés en el ámbito deportivo: fundamentos teóricos e instrumentos de evaluación. *Int J Clin Hlth Psych*. 2006;6(2):359–78.
125. Nicholls AR, Polman RC. Coping in sport: A systematic review. *J Sports Sci*. 2007;25(1):11–31.