

## LA CAPACIDAD PARA REPETIR ESFUERZOS MÁXIMOS INTERMITENTES: ASPECTOS FISIOLÓGICOS (I)

### REPEATED-SPRINT ABILITY: PHYSIOLOGICAL RESPONSES (I)

#### INTRODUCCIÓN

Para el propósito de esta revisión, la capacidad para repetir sprints de forma intermitente se define como la realización de esfuerzos máximos o casi-máximos (al menos dos) de menos de 10 segundos de duración, que son reproducidos intermitentemente e intercalados con periodos de recuperación incompleta (típicamente menos de 90 segundos)<sup>1</sup>. Esta forma de ejercicio representa el patrón de movimiento típico en la mayor parte de los deportes de equipo (fútbol, baloncesto, balonmano o fútbol sala) y en algunos individuales (tenis o bádminton). Los deportistas que participan en estas modalidades deportivas necesitan realizar de forma repetida sprints cortos (normalmente entre 1" y 7") a intensidad máxima o casi máxima, separados por breves periodos de recuperación (actividades de baja intensidad o pausas), durante un periodo de tiempo relativamente largo (entre 1 y 4 horas)<sup>2</sup>. Desde un punto de vista fisiológico, estos deportes son generalmente clasificados como deportes intermitentes de alta intensidad (DIAI) o deportes de sprints múltiples<sup>3</sup>. Estos esfuerzos de máxima intensidad pueden ser determinantes en el resultado final de un partido<sup>4-6</sup> y por ello, parece ser que un aspecto condicional importante en estas especialidades es lo que los científicos del deporte han definido como repeated-sprint ability (RSA) o la capacidad de repetir esfuerzos (sprints) de forma intermitente<sup>2,7</sup>. Es decir, la capacidad de estos atletas para

reproducir, por ejemplo, su velocidad de desplazamiento durante un sprint a intensidad máxima, después de uno o varios esfuerzos previos (resistencia a la velocidad).

Aunque el rendimiento competitivo en estos deportes (DIAI) es multifactorial y depende en gran medida de aspectos técnicos, tácticos y coordinativos<sup>8,9</sup>, recientes investigaciones parecen sugerir que ciertas cualidades físicas como la potencia, fuerza, agilidad, velocidad o resistencia pueden estar correlacionadas con el nivel competitivo de estos atletas<sup>5,6,10-12</sup>. En la actualidad, no existen evidencias científicas directas sobre la relación entre la capacidad para mantener la velocidad de desplazamiento durante sprints intermitentes y el rendimiento del jugador durante la competición en DIAI. Sin embargo, algunos estudios parecen indicar que la disminución en la velocidad de desplazamiento, a causa de la fatiga muscular, provocada por la reiteración de sprints con recuperaciones incompletas, podría tener un efecto negativo en el rendimiento durante DIAI<sup>6,13-15</sup>. Han sido varios los mecanismos sugeridos de mediar en el deterioro del rendimiento competitivo, como consecuencia de la disminución en la capacidad para mantener la velocidad de desplazamiento en DIAI. Por ejemplo, en tenis, una disminución en la velocidad de desplazamiento, podría resultar en una mala y tardía colocación de los segmentos corporales para un eventual golpeo, lo que implicaría una dis-

**José C. Barbero<sup>1</sup>**

**Alberto Méndez Villanueva<sup>2</sup>**

**David Bishop<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Dpto. de Educación Física y Deportiva, Universidad de Granada  
<sup>2</sup>Dpto. de Didáctica Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte Universidad de Alcalá Madrid  
<sup>3</sup>Team Sport Research Group, School of Human Movement and Exercise Science The University of Western Australia

#### CORRESPONDENCIA:

José Carlos Barbero Álvarez  
Dpto. de Educación Física y Deportiva. Universidad de Granada (Campus de Melilla)  
Ctra. Alfonso XIII s/n. 52005Melilla  
E-mail: jcba@ugr.es

**Aceptado:** 08-03-2006 / Revisión nº 191

minución en la precisión y/o velocidad del mismo, un aumento de bolas que no pueden ser alcanzadas, así como un cambio en la intención del golpeo; pasando de ser un golpe ganador a una devolución de bola para evitar el error<sup>16,13</sup>. Esto indicaría que el deterioro del rendimiento técnico en tenis, posiblemente el factor más decisivo desde el punto de vista competitivo<sup>17</sup>, estaría ocasionado, al menos parcialmente, por la incapacidad del tenista de mantener su velocidad de desplazamiento en la pista, como consecuencia de la aparición de la fatiga neuromuscular. Estas afirmaciones pueden ser transferidas al resto de DIAI donde la aparición de la fatiga podría provocar, por ejemplo, una disminución del número de desmarques y salidas en velocidad, no conseguir llegar a tiempo a las coberturas o a la presión del balón.

Estos hechos demostrarían la importancia de la RSA y confirmarían que es un área de interés por su posible transferencia hacia los deportes de equipo y pista. Aunque son necesarios más estudios que confirmen la relación entre RSA y el rendimiento del jugador durante la competición, si parece existir consenso sobre la necesidad de que el jugador de un DIAI posea una excelente capacidad para realizar esfuerzos máximos intermitentes tras recuperaciones incompletas, con la menor disminución del rendimiento posible y durante un tiempo prolongado.

## BIOENERGÉTICA DE LA CAPACIDAD DE REPETIR SPRINTS

A pesar de la importancia que puede tener la RSA en los DIAI, el conocimiento acerca las caracte-

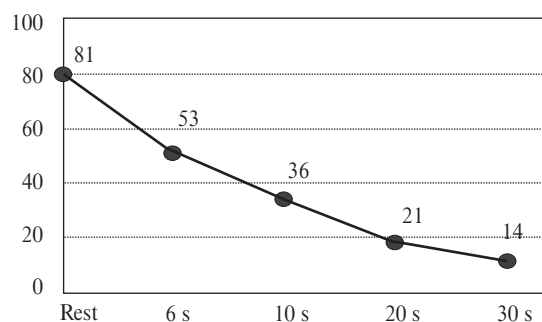
rísticas fisiológicas que determinan la RSA es escaso. Durante el ejercicio de alta intensidad (sprint) y corta duración (< 6 seg) la mayor parte de la resíntesis de ATP proviene de la ruptura de la fosfocreatina (PCr) y de la degradación del glucógeno muscular a ácido láctico, es decir la energía se obtiene a través de la sollicitación casi exclusiva del metabolismo anaeróbico<sup>18,19</sup>. Se ha demostrado que si estos periodos de ejercicio a alta intensidad son repetidos o se prolongan en el tiempo (Figura 1), la contribución de estos procesos en la resíntesis del ATP pierde protagonismo y habrá un incremento del metabolismo aeróbico<sup>19-22</sup>. Sin embargo, esta aportación por parte del metabolismo aeróbico no compensa la energía que proporcionaba el sistema anaeróbico y como consecuencia, no se puede mantener la potencia desarrollada, por lo que se produce una disminución del rendimiento<sup>19</sup>.

El metabolismo de la RSA requiere para la resíntesis de ATP la aportación en distinta medida, de cada uno de los sistemas de energía<sup>21,25,26</sup>. Por lo tanto, desde un punto de vista energético, la RSA se diferencia del tradicional esquema descrito para deportes cíclicos y parece depender de una compleja interacción entre los tres sistemas de obtención de energía (Figura 2). Este modelo bioenergético y el papel que juega cada una de las vías energéticas en el rendimiento durante la RSA será el objetivo del siguiente punto de esta revisión.

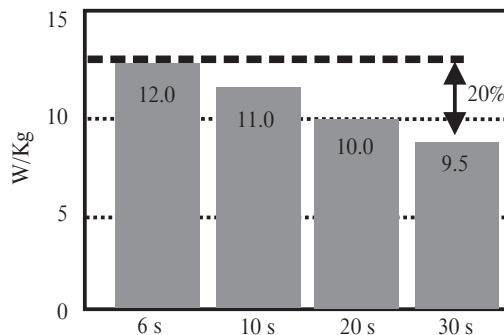
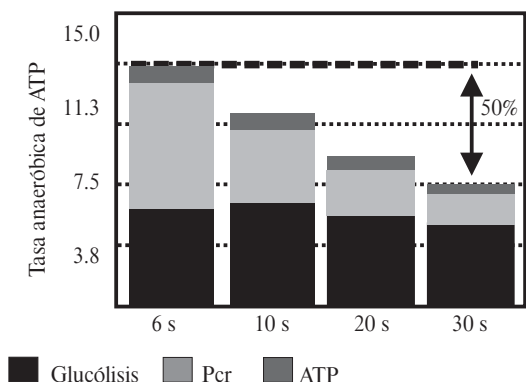
## Metabolismo anaeróbico y capacidad de repetir sprints

Las demandas energéticas, tanto para abastecer los procesos contráctiles (Ej. puentes de unión

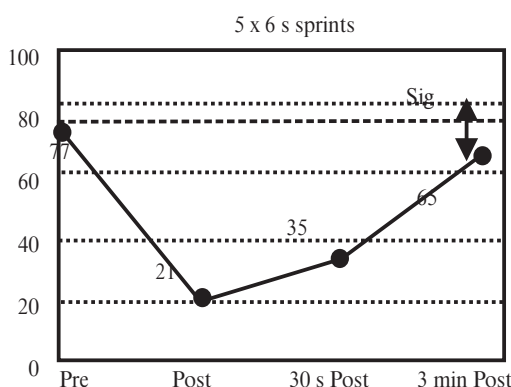
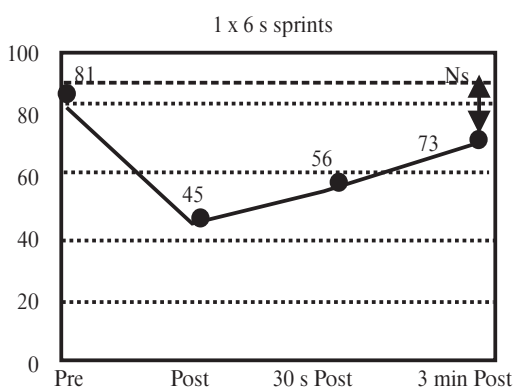
**FIGURA 1.** Modificación de los depósitos de PCr (izquierda) y otros metabolitos (ATP, glucógeno y lactato) durante la realización de esfuerzos máximos de diferente duración<sup>23,24</sup>



Metabolito	Reposo	6 s	10 s	20 s	30 s
Glucógeno	404		357	330	281
Pcr	81	53	36	21	14
ATP	25.6	23.2	20.2	19.8	19.6
Lactato	5	28	51	81	108



**FIGURA 2.** Aportación energética de las diferentes vías metabólicas (glucógeno, PCr y ATP) (izquierda) y potencia desarrollada durante la realización de esfuerzos máximos de diferente duración (derecha)<sup>27</sup>



**FIGURA 3.** Comparativa del grado de resíntesis de PCr post-esfuerzo tras la ejecución de 1 o 5 sprints de 6 segundos<sup>22</sup>

entre las cabezas de miosina y moléculas de actina) como los no contráctiles (Ej. bomba Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> o bomba de Ca<sup>2+</sup>), asociadas al ejercicio de sprints repetidos son extremas. El cuerpo humano puede almacenar dentro del músculo entre 20 y 25 mmol·kg<sup>-1</sup> (tejido seco) de ATP, que con una tasa máxima de utilización de 15 mmol·kg<sup>-1</sup> (tejido seco) por segundo, quedarían agotados en menos de 2 segundos de trabajo a máxima intensidad<sup>19,24</sup>. Para poder continuar con el trabajo muscular demandado el ATP deberá ser resintetizado mediante la participación de diferentes procesos metabólicos.

### Fosfocreatina (PCr)

Durante un esfuerzo de 6 segundos a intensidad máxima, aproximadamente el 50% de la energía obtenida por medio del metabolismo anaeróbico se consigue a partir de la degradación de los depósitos musculares de fosfo-

creatina (PCr), por lo que después de un ejercicio de estas características habrá una importante disminución de los niveles de PCr<sup>19,23</sup>. Además, estos depósitos son vaciados progresivamente con la reiteración de esfuerzos intensos<sup>19,28,29</sup>. Dado que la recuperación total de estos depósitos puede requerir entre 3 y 5 minutos<sup>30</sup> y en la mayoría de los deportes intermitentes los tiempos de recuperación son menores<sup>14,31</sup>, los almacenes de PCr solo podrán ser parcialmente repuestos antes del inicio del siguiente sprint o acción explosiva. Por tanto, podemos establecer que el grado de participación del metabolismo de la PCr dependerá en buena medida de la duración de los tiempos de descanso/pausa entre dos acciones y/o del volumen total de trabajo o número de repeticiones previas realizadas<sup>32</sup> (Figura 3).

Los procesos de resíntesis de PCr dependen principalmente del potencial oxidativo del mús-

culo esquelético<sup>33-36</sup>. Desafortunadamente no existe apenas información sobre la influencia de los periodos de recuperación en la resíntesis de PCr durante la realización de sprints repetidos. Gaitanos, *et al.*<sup>19</sup> midieron los cambios de varios sustratos metabólicos en el músculo, entre ellos la PCr, mediante el análisis de biopsias musculares obtenidas del músculo cuádriceps durante un test de 10 x 6 s de sprints máximos en ciclo-ergómetro. Los autores estimaron que la producción de energía por vías anaeróbicas durante el último sprint fue aproximadamente tres veces menor que durante el primer sprint. Paralelamente, se registro un descenso del 33% y 27% del pico de potencia y de la potencia media desarrollada en el sprint 10 en comparación con el sprint 1. En términos absolutos, la cantidad de energía obtenida por medio de la degradación de los depósitos de PCr durante el décimo sprint fue casi la mitad que la obtenida en el primer sprint. Sin embargo, en términos relativos la participación de la PCr en la producción de energía por vías anaeróbicas durante el sprint 1 fue de un 50%, mientras que este valor llega hasta un 80% durante el sprint 10. Esta elevada participación relativa del metabolismo de PCr en los procesos energéticos durante el sprint 10, a pesar de que en términos absolutos la cantidad de PCr utilizada fue significativamente menor, parece estar relacionada con la reducción de la participación del metabolismo anaeróbico glucolítico.

### Glucólisis

La producción de ATP mediante la glucólisis anaeróbica se activa rápidamente al inicio de un ejercicio a máxima intensidad, con una tasa máxima de utilización de 6-9 mmol·kg<sup>-1</sup> (tejido seco) por segundo<sup>37</sup>. Cuando un ejercicio de 6 segundos de duración se prolonga en el tiempo hasta los 30 segundos la participación relativa del metabolismo de PCr pierde protagonismo y la activación de la glucólisis anaeróbica se convierte, de esta manera, en el principal soporte energético del trabajo realizado<sup>18</sup>. El ejercicio de sprints repetidos también ha sido asociado con una participación elevada de la glucólisis anaeróbica<sup>19,25,38,39</sup>. Sin embargo, los cambios

que tienen lugar dentro de la célula muscular en respuesta a los procesos metabólicos asociados a este tipo de ejercicio parecen tener la capacidad para inhibir progresivamente la glucólisis anaeróbica<sup>20</sup>. Por ejemplo, Gaitanos, *et al.*<sup>19</sup>, estimaron que la vía anaeróbica glucolítica había aportado un 44% de la energía total obtenida por el metabolismo anaeróbico durante el sprint 1, mientras que este valor se reducía hasta un 16% en el sprint 10.

En la actualidad se desconocen cuales son los mecanismos responsables de esta reducción en la participación de la glucólisis anaeróbica durante el ejercicio intermitente de alta intensidad, aunque han sido varios los mecanismos propuestos<sup>40</sup>. Entre los dos más citados podríamos incluir; la disminución progresiva de los depósitos de glucógeno muscular<sup>41</sup> y la inhibición de dos enzimas claves en la regulación de la de glucogenolisis y glucólisis (fosforilasa y fosfofructoquinasa) como consecuencia de una disminución del pH muscular<sup>42</sup>. Sin embargo, los resultados obtenidos en diferentes estudios son dispares y se necesitan más investigaciones que aclaren este fenómeno.

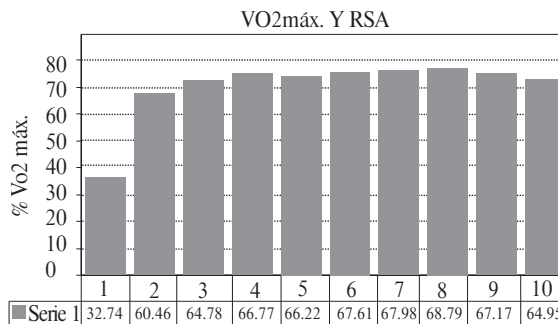
### Metabolismo aeróbico y capacidad de repetir sprints

Parece ser que en series repetidas de ejercicio intenso a medida que aumenta el tiempo de ejercicio hay una importante disminución del metabolismo glucolítico y un aumento de la participación aeróbica. En el estudio de Gaitanos, *et al.*<sup>19</sup> midieron los cambios en el músculo del ATP, PC, lactato y piruvato durante un test de 10 x 6 s de sprint máximo en ciclo-ergómetro y estimaron que durante el primer sprint la glucólisis anaeróbica contribuyó aproximadamente en un 50% y que en los últimos sprints la contribución de la glucólisis anaeróbica descendía sobre el 20%, sugiriendo que el metabolismo aeróbico contribuía de forma significativa en los últimos sprints. Así mismo, los estudios que han valorado de forma directa el consumo de oxígeno (VO<sub>2</sub>) durante un test de sprints repetidos confirman el incremento del metabolismo oxidativo a medida que

aumenta el número de sprints<sup>3,30</sup>, con cifras que pueden superar el 70% del  $VO_{2max}$ <sup>3</sup>.

A pesar de ello, en un estudio reciente<sup>43</sup> con valoración directa (K4b2) no hallaron diferencias en el consumo de oxígeno entre el inicio y el final de una prueba de campo de 10 x 30 m (15 + 15 m - ida y vuelta con 30 s recuperación) (Figuras 4). En cambio, si obtuvieron diferencias significativas para el consumo de oxígeno entre una situación de recuperación activa (trote suave) respecto a una recuperación pasiva ( $83,72 \pm 10,75\% VO_{2max}$  vs  $63,70 \pm 10,60\% VO_{2max}$ ). No obstante, son necesarios más estudios que nos permitan determinar con exactitud el momento de participación y el tipo de contribución del metabolismo aeróbico durante una prueba de sprints repetidos.

En resumen, parece claro que el metabolismo de los sprints cortos repetidos va a depender tanto de la duración del ejercicio y número de repeticiones, como del tiempo de recuperación. El perfil metabólico de la RSA requiere la aportación, en distinta medida, de cada uno de los sistemas de energía para la resíntesis de



**FIGURA 4.** Participación aeróbica (%  $VO_{2max}$ .) durante un test RSA de 10 x 30 m (ida y vuelta) con analizador K4b2<sup>43</sup>

ATP<sup>21,25,26</sup>. Existen evidencias de que a medida que aumenta el tiempo de ejercicio se produce un aumento de la participación aeróbica y una importante disminución en la contribución absoluta de PCr y de la glucólisis anaeróbica. No obstante, a pesar de que en términos absolutos la cantidad de PCr utilizada disminuye a medida que se reiteran los sprints, se ha constatado una elevada participación relativa en los procesos energéticos del metabolismo de PCr, que parece estar relacionada con una reducción de la participación del metabolismo anaeróbico glucolítico.