

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

REPEATED-SPRINT ABILITY: PHYSIOLOGICAL RESPONSES (II)

FACTORES QUE INFLUYEN SOBRE EL RENDIMIENTO EN LA CAPACIDAD DE REPETIR SPRINTS

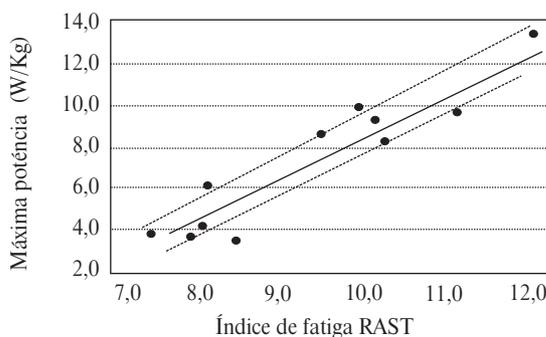
Desde un punto de vista práctico podemos decir que aquel deportista que posea una buena RSA será capaz de desarrollar una alta potencia muscular durante el primer sprint y repetir este esfuerzo en sucesivas ocasiones con la menor pérdida de rendimiento posible con respecto a su valor inicial. Un bajo nivel de potencia muscular inicial y/o una pérdida rápida de la capacidad para repetir el rendimiento inicial durante sucesivos sprints nos llevaría a concluir que el deportista evaluado posee una pobre RSA. Aunque en la actualidad los factores determinantes del rendimiento en RSA no han sido identificados, desde un punto de vista fisiológico, la literatura actual parece sugerir que la potencia muscular⁴⁴, la condición física aeróbica⁴⁵ o la capacidad tampón del músculo^{45,46} son atributos importantes en la RSA.

Potencia muscular

El primer factor a considerar es la potencia muscular del atleta. Esta cualidad física, que se expresaría durante la práctica deportiva en aceleraciones, sprints o saltos, es considerada clave en la mayoría de los DIAI^{11,47-49}. Un deportista con una elevada potencia muscular es capaz de

desarrollar gran trabajo mecánico en el primer sprint y en los sucesivos. No obstante, es cierto que estos atletas son los que suelen experimentar una mayor disminución en su rendimiento muscular en el curso de una prueba de sprints repetidos^{3,50} (Figura 5).

Aunque la naturaleza de este hecho permanece sin aclarar, podría estar relacionado con una mayor capacidad de los sujetos para utilizar las vías anaeróbicas de producción de energía. En este sentido, aspectos como el incremento en la acidez muscular o la disminución en las reservas de "energía inmediata" (ATP y fosfocreatina) podrían estar relacionados con la fatiga



R² Lineal = 0,891

FIGURA 5. Relación entre potencia máxima desarrollada e índice de fatiga en jugadores de campo (n = 11) profesionales de fútbol sala, durante el test RAST (Barbero, et al., datos no publicados)

José C. Barbero¹

Alberto Méndez²

David Bishop³

¹Dpto. de Educación Física y Deportiva Universidad de Granada
²Dpto. de Didáctica Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte Universidad de Alcalá Madrid
³Team 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

en la RSA. Tradicionalmente, las principales causas de la fatiga neuromuscular durante el ejercicio de alta intensidad se han relacionado con alteraciones en el proceso de excitación-contracción muscular y/o en el aparato contráctil (fatiga periférica), como resultado de limitaciones en el aprovisionamiento de la energía necesaria para los procesos de contracción muscular y/o de la acumulación intramuscular de ciertos metabolitos, como H^+ , P_i , AMP, ADP o IMP, derivados de la misma⁵¹. Es decir, se cree que algunas de las consecuencias de la participación del metabolismo anaeróbico, como principal fuente energética durante el ejercicio de alta intensidad, son las causas de la aparición de este tipo de fatiga⁵². Por lo tanto, aunque un buen nivel de potencia muscular y una buena capacidad anaeróbica es esencial en el rendimiento en RSA, también podría tener un efecto negativo en la capacidad de mantener la producción de potencia muscular durante la realización de sucesivos sprints.

Condición física aeróbica

Un factor considerado de gran importancia en la capacidad de retener la producción de potencia muscular durante una prueba de RSA es la condición física aeróbica^{21,26,45,53}. El mecanismo de acción por el cual se sugiere que la capacidad aeróbica del deportista podría influenciar el rendimiento en RSA sería a través de la aceleración de los procesos de recuperación durante el ejercicio intermitente³⁰. En concreto, se cree que los procesos de resíntesis de PCr y el "aclaramiento" de lactato durante una prueba de RSA podrían verse mejorados en sujetos con mejores niveles de capacidad aeróbica.

El agotamiento de los depósitos musculares de PCr ha sido frecuentemente citado como un factor limitante del rendimiento en RSA⁴⁴. Este hecho parece estar apoyado por la alta correlación existente entre el grado de resíntesis de PCr y la recuperación de la potencia muscular^{21,23}. Además algunas investigaciones han encontrado una mejora del rendimiento durante una prueba de RSA después de un periodo de suplementación con monohidrato de crea-

tina^{54,55}, posiblemente en respuesta a un aumento en los niveles iniciales de PCr³⁷. El proceso de resíntesis de PCr solamente se puede realizar en presencia de oxígeno^{33,35}. Por eso, el aumento de la condición física aeróbica sería un aspecto a considerar para mejorar el rendimiento en RSA, ya que podría ayudar a una más rápida reposición de los depósitos de PCr durante los periodos de recuperación. En estudios previos, se ha observado una mayor velocidad de resíntesis de PCr en atletas de resistencia³⁴ y una mejora de la misma después de un periodo de entrenamiento de resistencia⁵⁶. En conjunto, estos resultados parecen sugerir que el nivel de condición física aeróbica es un determinante importante del rendimiento en la RSA.

Sin embargo, en un estudio reciente hemos comprobado que la relación entre RSA y capacidad aeróbica depende de la distancia o duración del sprint, al haber encontrado correlaciones significativas entre VO_{2max} e IF (índice de fatiga) para una prueba de 6 sprints de 40 m con 30 s de recuperación, mientras que este hecho no se produjo en distancias inferiores (6 x 15m y 6 x 30m), para el mismo tiempo de recuperación. Este hecho, parece sugerir que el consumo de oxígeno no tiene una gran contribución en pruebas (de 6 repeticiones) inferiores a 6 s, bien por la escasa duración del esfuerzo, bien porque el número de sprints no es suficiente para provocar una elevada demanda del sistema aeróbico, pero su importancia en el rendimiento se incrementaría cuando aumenta la duración del sprint. (Barbero, *et al*, datos no publicados).

Asimismo, cuando se comparan grupos de deportistas con valores de condición física aeróbica (VO_{2max}) homogéneos y/o relativamente altos ($>50 \text{ ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$) la correlación entre el rendimiento en RSA y el VO_{2max} desaparece^{57,58}. Recientemente, Bishop y Spencer⁴⁴ han comparado el rendimiento en RSA en dos grupos de atletas de resistencia y deportes de equipo bien entrenados con valores similares de VO_{2max} (54,8 vs. 56,1 $\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$). Aunque los atletas que participaban en deportes de equipo fueron capaces de realizar más trabajo durante

la prueba de RSA que las atletas de resistencia, también fueron menos capaces de mantener los niveles de producción de potencia. Es decir las deportistas de equipo experimentaron un mayor grado de fatiga muscular. Esto sugeriría la existencia de otros factores adicionales, aparte del VO_{2max} , que podrían jugar un papel determinante en la capacidad de mantener el rendimiento muscular en la RSA. A pesar de que este argumento necesita ser confirmado experimentalmente, algunos autores han sugerido la existencia de un umbral de condición física aeróbica mínimo por encima del cual una mejora de la misma, probablemente no produciría ningún beneficio sobre la RSA⁵⁸. Futuras investigaciones deberán confirmar la existencia de dicho umbral así como la identificación de otros factores, que aparte de la condición física aeróbica, puedan explicar las diferencias individuales en el grado de fatiga muscular experimentado durante la RSA.

En este sentido, los resultados obtenidos recientemente por Thomas, *et al.*⁵⁹ parecen sugerir que la capacidad oxidativa del músculo (la capacidad respiratoria mitocondrial), determinada mediante el análisis de tejido muscular obtenido a través de biopsias en el vasto lateral del músculo cuádriceps, estaría relacionada con la capacidad de "aclarado" de lactato sanguíneo en humanos bien entrenados. Además, tanto la capacidad oxidativa muscular como la capacidad de "aclarado" de lactato sanguíneo se asociaron con un menor nivel de fatiga durante una prueba de RSA. Podríamos sugerir entonces que, debido a que los valores de VO_{2max} parecen reflejar la contribución global de diferentes sistemas fisiológicos, y que dependerían tanto de factores "centrales" como "musculares", las mediciones de VO_{2max} podrían no ser suficientemente precisas para dilucidar adaptaciones en sistemas u órganos específicos. Además, y aunque esto es aún objeto de intenso debate, en humanos ejercitándose in situ, el VO_{2max} parece estar limitado por la capacidad del sistema cardiorrespiratorio para proveer oxígeno a los músculos en contracción y no por la capacidad del músculo de extraer oxígeno⁶⁰.

Capacidad tampón

Uno de los factores que podría aclarar estas diferencias y parece ser importante en la RSA es la capacidad tampón (buffer capacity) de los músculos implicados en el movimiento^{45,46}. Durante el ejercicio de alta intensidad, el glucógeno es utilizado para re fosforilar ATP y de esta forma satisfacer las demandas energéticas de las fibras musculares en contracción. Como consecuencia, este tipo de ejercicio conlleva una acumulación de ácido láctico en el espacio intracelular⁶¹. El ácido se disocia entonces en lactato y en iones de hidrógeno (H^+). Aunque se cree que la acumulación de lactato no tiene efectos negativos en la capacidad contráctil del músculo^{62,63}, el incremento en la concentración de H^+ , que produce una reducción en el pH muscular (acidosis), ha sido clásicamente reconocida como la causa de la fatiga en el músculo esquelético^{64,65}. Al menos por tres razones la reducción en el pH muscular se cree que es un factor importante en la etiología de la fatiga muscular⁶⁶. En primer lugar, un pH muscular bajo podría inhibir la actividad de enzimas como la fosfofructoquinasa⁴², que es una enzima importante en el ciclo de la glucólisis anaeróbica. Segundo, diversos estudios en fibras musculares aisladas han demostrado claramente que un bajo nivel de pH tiene un efecto inhibitorio en el rendimiento muscular, reduciéndose tanto la capacidad de producir fuerza como la velocidad de acortamiento^{67,68}. Finalmente, investigaciones en músculos humanos in situ han mostrado una buena correlación entre la disminución del pH y la reducción de la producción de fuerza a medida que la fatiga se desarrolla⁶⁹.

Como se ha expuesto con anterioridad, el ejercicio de sprints intermitentes se asocia habitualmente con una elevada participación de la glucólisis anaeróbica, y consecuentemente con una gran producción y acumulación de ácido láctico^{19,25,38,39}. De esta manera, la reducción del pH muscular o acidosis muscular se ha asociado con la disminución en la producción de potencia durante la RSA^{19,50}. Se ha sugerido entonces que la capacidad para tamponar el

exceso de H^+ podría ser un atributo importante para mantener la producción de potencia y la capacidad de trabajo durante la RSA^{45,46}. Por ejemplo, Bishop, *et al.*⁴⁶ encontraron que después de la ingestión de bicarbonato sódico ($NaHCO_3$), que indujo alcalosis metabólica, los sujetos fueron capaces de aumentar su rendimiento en una prueba de RSA (5 x 6 segundos con 24 segundos de recuperación). Aunque los mecanismos de acción por los cuales la alcalosis metabólica puede tener una acción ergogénica no han sido aclarados, Bishop, *et al.*⁴⁶ sugirieron que uno de los mecanismos podría estar relacionado con una mayor contribución del metabolismo anaeróbico a la producción total de energía.

Sin embargo, evidencias recientes han desafiado el papel de la acidosis muscular como el causante directo de la fatiga muscular^{5,52,70}, habiéndose demostrado que el rendimiento en la RSA es independiente de la concentración de lactato postejercicio^{71,72} y que el "aclarado" de lactato y H^+ podría no ser por tanto el factor limitante del rendimiento en RSA⁷³. Se ha sugerido que, más que una acción directa sobre la capacidad contráctil del músculo, la acidosis muscular podría tener una acción indirecta y se ha especulado con la posibilidad de una respuesta refleja como resultado, por ejemplo, de niveles intramusculares elevados de diferentes metabolitos (K^+ , lactato, H^+ , etc)⁷⁴. Si este fuera el caso, esta respuesta actuaría como un mecanismo de defensa a nivel subconsciente y que se iniciaría para prevenir la posibilidad de daños irreparables a nivel celular⁷⁵. La aceptación de esta teoría implicaría que el rendimiento muscular en humanos estaría en última instancia controlado por el sistema nervioso central y que por lo tanto las causas de la fatiga muscular en RSA dependerían en gran medida de mecanismos de control a nivel nervioso⁷⁶. No obstante, son necesarios más estudios longitudinales que aclaren los mecanismos por los cuales la capacidad también esta relacionada con el rendimiento en la RSA.

En resumen, se conoce muy poco sobre cuales son los mecanismos que limitan el rendimiento

muscular durante una prueba de RSA. Además, las conclusiones alcanzadas en diferentes estudios parecen irreconciliables, lo que no nos permite realizar aportaciones validas, y basadas en evidencias científicas, que puedan ser utilizadas por los entrenadores, preparadores físicos o científicos del deporte para mejorar la capacidad de RSA en deportistas de DIAI.

VALORACIÓN FISIOLÓGICA DE LA CAPACIDAD PARA REPETIR SPRINTS

Habitualmente, cuando se hace referencia a la RSA se conjugan dos variables: la duración del esfuerzo y el tiempo de recuperación, siendo el cociente entre ambas lo que se denomina relación trabajo-descanso o work-rest ratio. En nuestra opinión, además de estas dos variables, podríamos contemplar el número de repeticiones o volumen total de trabajo e incluso el tipo de actividad (pasiva versus activa) que se realiza durante la recuperación en la confección de una prueba de RSA. Por tanto, se trata de diferentes parámetros que podemos conjugar de diversas maneras permitiéndonos modificar las características del esfuerzo realizado durante la ejecución de una prueba de RSA.

La importancia de la duración del sprint se comprueba en el estudio de Balsom, *et al.*²⁵, donde al modificar la distancia y el número de repeticiones manteniendo constante el volumen total de trabajo (distancia total recorrida) y el tiempo de la recuperación entre esfuerzos, se comprobó que para una misma recuperación el aumento de la duración del sprint, produjo una disminución del rendimiento (Figura 6).

Al comprobar que en sprints de 15 m una relación trabajo-descanso (1:10) permitía mantener el rendimiento, Abt, *et al.*²⁷ modificaron los tiempos de recuperación para mantener constante esa relación. Al igual que en el estudio de Balsom, *et al.*²⁵, el rendimiento se mantenía durante los sprints de 15 m, mientras que para distancias superiores (30 y 40 m) la capacidad de los sujetos disminuyó de manera significativa (-2,60% y -5,20%). Por lo que el rendimiento

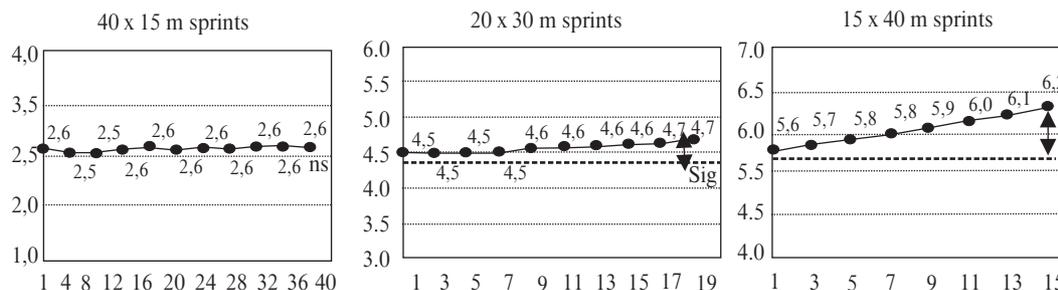


FIGURA 6. Resultados de los tiempos obtenidos en las 3 pruebas RSA²⁵

en sprints repetidos parece depender de la duración del esfuerzo más que de la relación trabajo-descanso, siendo necesarias nuevas investigaciones que permitan alcanzar un mayor conocimiento sobre la dinámica de los esfuerzos y la capacidad de recuperación durante la ejecución de este tipo de ejercicio (Tabla 1) (Figura 7).

| Protocol | Work: Rest | Rest (s) |
|----------|------------|----------|
| 22 x 15m | 1:10 | 26 |
| 13 x 30m | 1:10 | 44 |
| 8 x 50m | 1:10 | 71 |

TABLA 1. Protocolo de actuación en el que se modifican los tiempos de recuperación y las distancias manteniendo constante la relación trabajo- descanso²⁷

PRODUCTOS Y VARIABLES DE ESTUDIO

Diferentes autores, entre ellos Dawson, *et al.*⁷⁷ establecieron que los test RSA debían tener entre 8 y 10 sprints de 5 segundos con periodos de 30 segundos de recuperación, considerando estos esfuerzos suficientes para conseguir el objetivo de valorar la capacidad de resistencia al sprint. Si hacemos una revisión de la literatura, podemos apreciar que se han aplicado diferentes protocolos, tanto de carrera como en cicloergómetro, para la valoración de la RSA, entre los cuales podemos destacar los siguientes:

Ciclo-ergómetro

- 6 x 6-s con 24-s recuperación⁷
- 5 x 6-s con 24-s recuperación⁵⁰

Sprint en carrera

- 8 x 35 m con 30 s recuperación⁷⁸
- 6 x 40 m con 24 s recuperación⁷
- 7 x 30 m con 20 s recuperación⁷⁹
- 8 x 30 m con 25 s recuperación⁸⁰

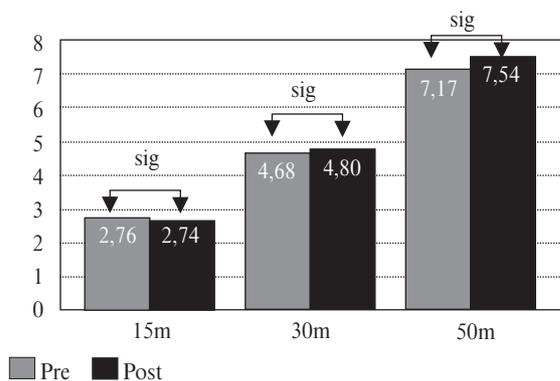


FIGURA 7. Comparación entre el pre y post test de las pruebas 22x15m, 13x30m, y 8x50m²⁷

La aplicación de pruebas de RSA permite valorar diferentes parámetros relacionados con la capacidad funcional del sujeto y obtener información relevante implicando la realización de pocos cálculos. Dependiendo de si los protocolos utilizados son de carrera o en cicloergómetro, los resultados obtenidos se pueden concretar en las siguientes variables:

RSA en carrera:

1. Mejor tiempo: Es el menor tiempo conseguido en los sprints efectuados. Es un indicador de la potencia del sujeto, pudiendo

calcular a partir de este valor la *máxima velocidad* y, si conocemos el peso, *el pico de potencia total y relativa*:

$$Pot = (m.a) \times \frac{e}{t} \text{ y } Pot_{\text{relativa}} = \frac{(m.a) \times \frac{e}{t}}{m}$$

2. Tiempo total o sumatoria de tiempos: Suma de todos los tiempos obtenidos en la prueba. Se trata del resultado global del test y puede ser considerado como un indicador de la capacidad para realizar ejercicio intermitente de máxima intensidad.

3. Índice de fatiga: En la literatura existen diferentes procedimientos para el cálculo del índice de fatiga^{7,81,82}. Básicamente, pretenden aportar información relacionada con el porcentaje de pérdida o disminución en el rendimiento durante la ejecución de sprints repetidos y sirven para representar el grado de fatiga y la capacidad individual para recuperar rápidamente.

- *Índice de Bangsbo*: el método aplicado por este autor consiste en obtener la diferencia entre el peor y el mejor tiempo.
- *Índice de Wragg, et al.*⁸²: Proponen calcular la diferencia entre la media de los dos peores y los dos mejores tiempos.
- El índice utilizado con más frecuencia en estudios de RSA es el de *Fitzsimons et al.*⁷, ya que aporta información sobre como se produce la disminución del rendimiento a lo largo de la prueba. No obstante, es necesario señalar que al tra-

tarse de un índice relativo el error aleatorio producido por las mediciones se amplifica. Para calcular dicho índice de fatiga se emplea la siguiente fórmula:

$$IFF = \left(\frac{\sum \text{tiempos}}{t_{\text{mejor}} \times n^{\circ} \text{ sprints}} \times 100 \right) - 100 = \%$$

RSA en cicloergómetro:

- Potencia pico y potencia media desarrollada en cada sprint.
- Trabajo total: Suma del trabajo realizado en cada uno de los sprints.
- Índice de fatiga: Porcentaje de disminución del trabajo realizado durante la prueba.

En la Tabla 2 se representa un ejemplo⁴⁴ de los métodos utilizados para el cálculo de los resultados absoluto (trabajo total) y relativo de una prueba de RSA en cicloergómetro de 5 x 6 s, basados en *Fitzsimons, et al.*⁷.

Resumiendo, la RSA va a depender principalmente de la duración del sprint y del periodo de recuperación, variando de forma no establecida durante el desarrollo de un partido en los deportes de equipo, por lo que lamentablemente, la RSA va a ser muy difícil de estudiar en este entorno⁸³. En este sentido, el conocimiento de cuanto sucede por término medio durante un encuentro típico (match analysis), en relación a la duración del sprint y el subsiguiente periodo de recuperación, nos puede dar una buena idea de la naturaleza de la RSA para cada especialidad deportiva.

Parece obvio que los protocolos de RSA deben ser muy específicos, debiendo simular el patrón de actividad de cada especialidad deportiva. A pesar de ello, muchos de los estudios de RSA con jugadores de deportes de equipo están realizados con cicloergómetros en condiciones de laboratorio, las cuales permiten un mayor control de las variables objeto de estudio e incluso analizar variables que en la actualidad es imposible en condiciones de campo, pero es neces-

| 5 sprints de 6 s en Repetición | Cicloergómetro Trabajo (W=kj) |
|--------------------------------|--|
| 1 | 6.7 |
| 2 | 6.4 |
| 3 | 6.2 |
| 4 | 5.9 |
| 5 | 5.7 |
| Trabajo total (TT) | 30.9 |
| Trabajo ideal (TI) | Mejor resultado x5=6.7x5=33.5 |
| Disminución rendimiento (%) | 100 - ((TT/TI) x 100) 100 - 92.2 = 7.8% |

TABLA 2.
Ejemplo del método empleado para calcular el índice de fatiga para 5 sprints de 6 segundos en cicloergómetro^{7,44}

rio subrayar que las importantes diferencias en la modalidad de ejercicio (carrera contra pedaleo) podrían tener influencia en los resultados. En relación a la especificidad de la prueba, Bishop *et al.*⁵⁰ sugieren que el empleo de sprints de 4 segundos, repetidos en 6 o 7 ocasiones y separados por un periodo de recuperación activa de aproximadamente 30 segundos puede ser una representación de un protocolo intenso y realista para medir la RSA en jugadores de hockey hierba, una vez analizadas las demandas reales de un partido. En nuestras valoraciones con jugadores de fútbol sala empleamos un protocolo de 8 sprints de 25 m con 25 segundos de recuperación basándonos en los resultados obtenidos del análisis de la competición realizado mediante match-analysis⁸⁴.

CONCLUSIONES

Las pruebas de RSA se caracterizan por estar diseñadas para valorar la capacidad de los deportistas durante la ejecución de una serie de esfuerzos máximos intermitentes de una duración entre 3 y 10 s y recuperaciones incompletas, normalmente menos de 60 segundos. Esta forma de ejercicio representa el patrón de movimiento característico de los deportes intermitentes de alta intensidad. Las demandas energéticas de estos deportes, como fútbol, baloncesto, hockey o fútbol sala, son complejas y muy difíciles de cuantificar, de ahí que la elección de pruebas que se asemejen a la realidad de la competición debería ser uno de los objetivos primordiales de la evaluación. En este sentido, nos parece primordial el diseño, desarrollo y la aplicación de pruebas RSA específicas (de carrera) que respeten el perfil de actividad (esfuerzo-pausa) característico de la competición en cada una de estas modalidades deportivas (DIAI).

Las características fisiológicas que determinan la RSA permanecen, en gran medida, sin esclarecer. A lo largo de esta revisión se ha podido apreciar la diversidad de la RSA y cómo el rendimiento y las respuestas fisiológicas están influidas no sólo por la distancia del sprint o

duración del esfuerzo^{25,85} (Barbero, *et al.* datos no publicados), sino que también la relación trabajo/recuperación pueden afectar el rendimiento en esta capacidad²⁷.

La participación metabólica durante una actividad de sprints repetidos requiere una combinación tanto de la vía aeróbica, como de la anaeróbica. Este patrón de actividad parece solicitar principalmente las vías anaeróbicas de producción de energía, especialmente los depósitos de ATP-PCr muscular, y la fatiga se convierte en un factor determinante. La mayoría de los autores reconocen la participación de las vías anaeróbica aláctica y láctica como predominantes durante el ejercicio máximo intermitente, lo que representa que un mayor potencial de las mismas proporcionaría un mejor rendimiento en la RSA.

Por otro lado, la participación de la vía aeróbica en este tipo de ejercicio está siendo mucho más discutida y criticada^{44,57}, para ciertos autores parece claro que existe relación entre el consumo máximo de oxígeno y esta capacidad^{3,25,26}; sobre todo, a medida que aumenta la duración del esfuerzo o disminuye el tiempo de recuperación entre los sprints²⁵. Por lo tanto, una mayor condición aeróbica también implicaría un incremento del rendimiento en la RSA porque podría ayudar a una más rápida reposición de los depósitos de PCr durante los periodos de recuperación. No obstante, algunos autores⁵⁸ han sugerido que por encima de determinados niveles (umbral de condición física aeróbica mínimo), una mejora de la misma, probablemente no produciría ningún beneficio sobre la RSA.

En resumen, la capacidad de recuperar entre sprints parece depender parcialmente de la resíntesis de la fosfocreatina²¹, pero todavía existe gran contradicción con respecto al efecto del VO_{2max} en la RSA, a pesar de su papel en el restablecimiento de la fosfocreatina. No obstante, recientes evidencias sugieren que la capacidad tampón podría contribuir de manera significativa a la capacidad de reiterar sprints^{45,46}.

Perspectivas futuras

Por último, son necesarias futuras investigaciones en las que se realicen pruebas de RSA con modificación de los diferentes parámetros (duración, tiempo de recuperación, ratios trabajo-recuperación y número de esfuerzos) y en las que se efectúen evaluaciones simultáneas de distintos metabolitos (lactato, hipoxantina, ácido úrico, piruvato, etc.), del consumo de oxígeno durante la prueba e incluso biopsias musculares, que nos permitan concretar la respuesta fisiológica de la RSA y explicar las diferencias individuales en el grado de fatiga experimental durante este tipo de ejercicio.

RESUMEN

El propósito de esta revisión ha sido analizar desde una perspectiva fisiológica la RSA o capacidad para repetir sprints de forma intermitente, definida 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). 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), por lo que se trata de un aspecto condicional que en los últimos tiempos está acaparando la atención de los científicos del

deporte. El modelo bioenergético y el papel que juega cada una de las vías metabólicas en el rendimiento durante la RSA junto con diferentes metodologías para su valoración han sido algunos de los puntos tratados en la presente revisión.

Palabras clave: RSA. Sprints repetidos. Valoración. Deportes de equipo.

SUMMARY

The purpose of this review was to analyse the physiological basis of repeated-sprint ability (RSA), that is defined as maximal or near-maximal intensity bouts (i.e., at least two) of 10 s or less in duration that are intermittently reproduced with incomplete recovery periods in between (i.e., recovery is typically less than 90 s in duration). This mode of exercise represents the movement pattern of many popular team sports (e.g., soccer, basketball, handball and futsal) and some individual sports (badminton and tennis). Thus, sport scientists have suggested that RSA might be an important fitness component to succeed in these sports. This review examines the metabolic changes occurring during this type of exercise, such as energy system contribution, and assessment of various physiological and performance parameters during tests of RSA.

Key words: Repeated-sprint exercise. Assessment. Team-sports.

B I B L I O G R A F Í A

1. Mendez-Villanueva A. *Mechanical power output and neuromuscular activity during and following recovery from repeated-sprint exercise in humans*. Tesis de Master. The University of Western Australia, Perth, Australia. 2004.
2. Bishop D, Spencer M, Duffield R, et al. The validity of a repeated sprint ability test. *J Sci Med Sport* 2001;4:19-29.
3. Hamilton AL, Nevill ME, Brooks S, et al. Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. *J Sports Sci* 1991;9:371-82.
4. Reilly T. *Science and Soccer*. Londres: E.&F.N Spon, 1996.

5. **Krustrup P, Mohr M, Amstrup T, et al.** The Yo-Yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med Sci Sports Exerc* 2003;35:697-705.
6. **Mohr M, Krustrup P, Bangsbo J.** Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 2003;21:439-49.
7. **Fitzsimons M, Dawson B, Ward D, et al.** Cycling and running tests of repeated sprint ability. *Aust J Sci Med Sports* 1993;25:82-7.
8. **König D, Huonker M, Schmid A, et al.** Cardiovascular, metabolic, and hormonal parameters in professional tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:654-8.
9. **Hoff J, Helgerud J.** Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 2004;34:165-80.
10. **Bangsbo J.** The physiology of soccer - with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiol Scand* 1994; 151(suppl 610):1-57.
11. **Müller E, Benko U, Raschner C, Schwameder H.** Specific fitness training and testing in competitive sports. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:216-20.
12. **Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, et al.** Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33:1925-31.
13. **Davey PR, Thorpe RD, Williams C.** Fatigue decreases skilled tennis performance. *J Sports Sci* 2002;20:311-8.
14. **Ferrauti A, Bergeron MF, Pluim BM, et al.** Physiological responses in tennis and running with similar oxygen uptake. *Eur J Appl Physiol* 2001;85:27-31.
15. **Welsh RS, Davis JM, Burke JR, Williams HG.** Carbohydrates and physical/mental performance during intermittent exercise to fatigue. *Med Sci Sports Exerc* 2002;34:723-31.
16. **Vergauwen L, Spaepen AJ, Lefevre J, et al.** Evaluation of stroke performance in elite tennis players. *Med Sci Sports Exerc* 1998;30:1281-8.
17. **Smekal G, von Duvillard SP, Rihacek C, et al.** A physiological profile of tennis match play. *Med Sci Sports Exerc* 2001; 33:999-1005.
18. **Boobis LH, Williams C, Wootton SA.** Human muscle metabolism during brief maximal exercise (Abstract). *J Physiol* 1982;338:21P-2P.
19. **Gaitanos G, Williams C, Boobis L, et al.** Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol* 1993;75:712-9.
20. **Spriet LL, Lindinger MI, McKelvie RS, et al.** Muscle glycogenolysis and H⁺ concentration during maximal intermittent cycling. *J Appl Physiol* 1989;66:8-13.
21. **Bogdanis GC, Nevill ME, Boobis LH, et al.** Contribution of phosphocreatine of aerobic metabolism to energy supply during repeated sprint exercise. *J Appl Physiol* 1996;80:876-84.
22. **Christmass MA, Dawson B, Arthur PG.** Effect of work and recovery duration on skeletal muscle oxygenation and fuel use during sustained intermittent exercise. *Eur J Appl Physiol* 1999;80:436-47.
23. **Bogdanis G, Nevill ME, Lakomy HKA, et al.** Recovery of power output and muscle metabolites following 30 s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol* 1995;482:467-80.
24. **Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HKA, Boobis LH.** Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand* 1998;163:261-72.
25. **Balsom P, Seger J, Sjodin B, et al.** Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Medicine* 1992;13:528-33.
26. **Dawson B, Fitzsimons M, Ward D.** The relationship of repeated sprint ability to aerobic power and performance measures of anaerobic work capacity and power. *Aust J Sci Med Sports* 1993;25:88-93.
27. **Abt G, Reaburn P, Holmes M, Gear T.** Changes in the peak sprint during prolonged high intermittent exercise that simulates team sport play. 5th World Congress on Science and Football, Book of Abstract. Lisboa: 2003;11-15:42.
28. **Yoshida T, Watari H.** Metabolic consequences of repeated exercise in long distance runners. *Eur J Appl Physiol* 1993; 67:261-5.
29. **Stathis CG, Febbraio MA, Carey ME, et al.** Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J Appl Physiol* 1994;76:1802-9.
30. **Tomlin DL, Wenger HA.** The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med* 2001;31:1-11.
31. **Roetert P, Ellenbecker TS.** *Complete conditioning for tennis.* Champaign (IL) US. Human Kinetics, 1998.
32. **Dawson B, Goodman C, Lawrence S, et al.** Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated sprint efforts. *Scand J Med Sci Sports* 1997;7:206-13.
33. **McCully KK, Fielding RA, Evans WJ, et al.** Relationships between in vivo and in vitro measurements of metabolism

- in young and old human calf muscles. *J Appl Physiol* 1993; 75:813-9.
34. **Takahashi H, Inaki M, Fulimoto K, et al.** Control of the rate of phosphocreatine resynthesis after exercise in trained and untrained human quadriceps muscles. *Eur J Appl Physiol* 1995;71:396-404.
 35. **Haseler LJ, Hogan MC, Richardson RS.** Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *J Appl Physiol* 1999;86:2013-8.
 36. **McMahon S, Jenkins D.** Factors affecting the rate of phosphocreatine resynthesis following intense exercise. *Sports Med* 2002;32:761-84.
 37. **Hultman E, Söderlund K, Timmons JA, et al.** Muscle creatine loading in men. *J Appl Physiol* 1996;81:232-7.
 38. **Brooks S, Nevill ME, Meleagros L, et al.** The hormonal responses to repetitive brief maximal exercise in humans. *Eur J Appl Physiol* 1990;60:144-8.
 39. **Gaitanos GC, Nevill ME, Brooks S, Williams C.** Repeated bouts of sprint running after induced alkalosis. *J Sports Sci* 1991;9:355-70.
 40. **Bangsbo J.** Physiology of intermittent exercise. En: Garrett WE, Kirkendall DT. *Exercise and sport science* Philadelphia (PA), US: Lippincott Williams & Wilkins, 2000;53-65.
 41. **Balsom PD, Wood K, Olsson P, Ekblom B.** Carbohydrate intake and multiple sprint sports: with special reference to football (soccer). *Int J Sports Med* 1999;20:48-52.
 42. **Hermansen L.** Muscle fatigue during maximal exercise of short duration. En: di Prampero PE, Poortmans J. *Physiological chemistry of exercise and training*. Basilea, Suiza: Karger 1981;44-52.
 43. **Castagna C, Annino G, Padua E, et al.** *Physiological responses to a repeated sprint protocol for basketball*. 9th Annual European College of Sport Science Congress, Clermont-Ferrand, 3-6 July, 2004.
 44. **Bishop D, Spencer M.** Determinants of repeated sprint ability in well-trained team-sport and endurance-trained athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 2004;44:1-6.
 45. **Bishop D, Edge J, Goodman C.** Muscle buffer capacity and aerobic fitness are associated with repeated-sprint ability in women. *Eur J Appl Physiol* 2004;92:540-7.
 46. **Bishop D, Edge J, Davis C, Goodman C.** Induced metabolic alkalosis affects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:807-13.
 47. **Baker D, Nance S.** The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *J. Strength Cond Res* 1999;13:230-5.
 48. **Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, et al.** Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *Int J Sports Med* 2001;22:45-51.
 49. **Arnason A, Sigurdsson SB, Gudmundsson A, et al.** Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Med Sci Sports Exerc* 2004;36:278-85.
 50. **Bishop D, Spencer M, Lawrence S.** Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *J Sci Med Sport* 2003;6:199-209.
 51. **Sahlin K, Tonkonogi M, Söderlund K.** Energy supply and muscle fatigue in humans. *Acta Physiol Scand* 1998; 162:261-6.
 52. **Westerblad H, Allen DG, Lännergren J.** Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause? *News Physiol Sci* 2002;17:17-21.
 53. **McMahon S, Wenger HA.** The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J Sci Med Sport* 1998; 1:219-27.
 54. **Balsom PD, Soderlund K, Sjödin B, Ekblom B.** Skeletal muscle metabolism during short duration high-intensity exercise: influence of creatine supplementation. *Acta Physiol Scand* 1995;154:303-10.
 55. **Mujika I, Padilla S, Ibañez J, et al.** Creatine supplementation and sprint performance in soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:518-25.
 56. **McCully KK, Clark BJ, Kent JA, et al.** Biochemical adaptations to training: implications for resisting muscle fatigue. *Can J Physiol Pharmacol* 1991;69:274-8.
 57. **Wadley G, Le Rossignol P.** The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. *J Sci Med Sport* 1998;2:100-10.
 58. **Hoffman JR, Epstein S, Einbinder M, Weinstein Y.** The influence of aerobic capacity on anaerobic performance and recovery indices in basketball players. *J Strength Cond Res* 1999;13:407-11.
 59. **Thomas C, Sirvent P, Perrey S, et al.** Relationships between maximal muscle oxidative capacity and blood lactate removal after supramaximal exercise and fatigue indexes in humans. *J Appl Physiol* 2004;97:2132-8.
 60. **Calbet JAL, Boushel R, Radegran G, et al.** Determinants of maximal oxygen uptake in severe acute hypoxia. *Am J Physiol* 2003;284:R291-R303.

61. Rico-Sanz J. Oxidative metabolism and anaerobic glycolysis during repeated exercise. *J Physiol* 1998;54:217-26.
62. Bangsbo J, Graham T, Johansen L, *et al.* Elevated muscle acidity and energy production during exhaustive exercise in humans. *Am J Physiol* 1992;263:R891-R899.
63. Posterino GS, Dutka TL, Lamb GD. L(+)-lactate does not affect twitch and tetanic responses in mechanically skinned mammalian muscle fibres. *Pflügers Arch* 2001;442:197-203.
64. Allen DG, Lännergren, J, Westerblad H. Muscle cell function during prolonged activity: cellular mechanisms of fatigue. *Exp Physiol* 1995;80:497-527.
65. Green HJ. Mechanisms of muscle fatigue in intense exercise. *J Sports Sci* 1997;15:247-56.
66. Bruton JD, Lännergren J, Westerblad H. Effects of CO₂-induced acidification on the fatigue resistance of single mouse muscle fibers at 28°C. *J Appl Physiol* 1998;85:478-83.
67. Metzger JM, Moss RL. Greater hydrogen ion-induced depression of tension and velocity in skinned single fibres of rat fast than slow muscles. *J Physiol* 1987;393:727-42.
68. Westerblad H, Allen DG. The influence of intracellular pH on contraction, relaxation and [Ca²⁺]_i in intact single fibres from mouse muscle. *J Physiol* 1993;466:611-28.
69. Giannesini B, Cozzone PJ, Bendahan D. Non-invasive investigations of muscular fatigue: metabolic and electromyographic components. *Biochimie* 2003;85:873-83.
70. Rico-Sanz J. Progressive decrease of intramyocellular accumulation of H⁺ and Pi in human skeletal muscle during repeated isotonic exercise. *Am J Physiol* 2003;284:C1490-C1496.
71. Ratel S, Bedu M, Hennegrave A, *et al.* Effects of age and recovery duration on peak power output during repeated cycling sprints. *Int J Sports Med* 2002;23:397-402.
72. Hughes MG, di Amaral IB, Rose G. The influence of recovery duration on blood lactate accumulation in repeated sprint activity. *J Sports Sci* 2005;23:130-1.
73. Price MJ, Thake CD, Sandoo A. The effects of sodium bicarbonate ingestion on repeated sprint performance. *J Sports Sci* 2005;23:136-7.
74. Woods JJ, Furbush F, Bigland-Ritchie B. Evidence for a fatigue-induced reflex inhibition of motoneuron firing rates. *J Neurophysiol* 1987;58:125-37.
75. Noakes TD, St Clair Gibson A. Logical limitations to the "catastrophe" models of fatigue during exercise in humans. *Br J Sports Med* 2004;38:648-9.
76. St Clair Gibson A, Lambert MI, Noakes TD. Neural control of force output during maximal and submaximal exercise. *Sports Med* 2001;31:637-50.
77. Dawson B, Ackland T, Roberts C, Lawrence S. Repeated effort testing: the phosphate recovery test revisited. *Sports Coach* 1991;14:12-7.
78. Rushall B, Pyke F. *Training for Sports and Fitness*. Melbourne, McMillian, 1990.
79. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci* 2000;18:669-83.
80. Oliver JL, Williams CA, Armstrong N. The reliability and validity of running tests of repeated sprint ability. *J Sports Sci* 2005;23:200-1.
81. Bangsbo J. *Entrenamiento de la condición física en el fútbol*. Barcelona: Paidotribo, 1998.
82. Wragg CB, Maxwell NS, Doust JH. Evaluation of the reliability and validity of a soccer specific field test of repeated sprint ability. *Eur J Appl Physiol* 2000;83:77-83.
83. Bishop D, Davis C, Dawson B, Goodman C, *et al.* *The effects of bicarbonate ingestion on repeated-sprint ability*. Annual Congress of the European College of Sports Medicine 2002, Athens, Greece; 7:162.
84. Barbero JC. *Desarrollo de un sistema fotogramétrico y su sincronización con los registros de frecuencia cardiaca para el análisis de la competición en los deportes de equipo. Una aplicación al fútbol sala*. Tesis doctoral, Universidad de Granada, 2002.
85. Bishop D, Spencer M, Duffield R, Lawrence S. *The relationship between peak VO₂ & repeated sprint ability (RSA)*. 5th IOC World Congress on Sport Sciences with the Annual Conference of Science and Medicine in Sport 1999.