

Article

# Intervalos de la Pausa ¿Largas o Cortas Durante el Entrenamiento de Sprint Repetido en el Fútbol?

F. Marcello Iaia, Matteo Fiorenza, Luca Larghi, Giampietro Alberti, Grégoire P. Millet y Olivier Girard

**Editor:** Laszlo Csernoch, University of Debrecen, HUNGARY

**Recibido:** Julio 11, 2016; **Aceptado:** Enero 20, 2017; **Publicado:** Febrero 15, 2017

**Copyright:** © 2017

## RESUMEN

El presente estudio comparó los efectos de dos programas de entrenamiento de sprints repetidos (RST), difiriendo en la duración de los intervalos de pausa de entre los sprints, sobre varios rendimientos relacionados al rendimiento del fútbol. Durante 5 semanas durante la temporada competitiva, veintinueve jugadores de fútbol varones jóvenes entrenados reemplazaron dos de sus habituales sesiones de fitness con RST caracterizados por intervalos cortos (5-15; n = 9) o largos (5-30; n = 10) de pausa, o sirvieron como control (n = 10). Los protocolos 5-15 y 5-30 consistieron en 6 repeticiones de sprints de 30-m (~5 segundos) en línea recta, entremezclados con 15 segundos o 30 segundos de recuperación pasiva, respectivamente. El protocolo 5-15 mejoró el tiempo de sprint de 200-m ( $2.0 \pm 1.5\%$ ;  $p < 0.05$ ) y tuvo un impacto positivo probable en el rendimiento del sprint de 20-m, mientras que el protocolo 5-30 disminuyó el tiempo de sprint de 20-m ( $2.7 \pm 1.6\%$ ;  $p < 0.05$ ) pero sólo fue posiblemente eficaz para mejorar el sprint de 200-m. La distancia cubierta durante el Yo-Yo test de recuperación intermitente Nivel 2 aumentó después del protocolo 5-15 ( $11.4 \pm 5.0\%$ ;  $p < 0.05$ ), que fue posiblemente mejor que el 6.5% de mejora no significativo observada en el protocolo 5-30. Las mejoras en el tiempo total de un test de capacidad de sprint repetido fueron posiblemente mayores después del protocolo 5-30 ( $3.6 \pm 0.9\%$ ;  $p < 0.05$ ) comparado al protocolo 5-15 ( $2.6 \pm 1.1\%$ ;  $p < 0.05$ ). Ambas intervenciones de RST llevaron a similares reducciones beneficiosas ( $p < 0.05$ ) sobre el registro de decremento del porcentaje (~30%) del test de capacidad de sprint repetido así como en la concentración del lactato sanguíneo durante el ejercicio submáximo (17-18%). Ningún cambio ocurrió en el grupo de control. En los jugadores de fútbol, el RST durante un período de 5 semanas en temporada es un medio eficaz para desarrollar diferentes componentes del fitness simultáneamente que son relevantes al rendimiento de juego, con distintos beneficios inducidos por intervalos más cortos de pausa comparado a intervalos de pausa más largos.

## INTRODUCCIÓN

El entrenamiento de sprints repetidos (el RST, *repeated-sprint training*) es definido como "una serie de sprint cortos (3-7 segundos de duración), cada uno separado por un período de recuperación corto (<60 segundos)" [1]. El RST es una

estrategia de entrenamiento compleja que apunta al desarrollo neuromuscular (es decir, rendimiento único del sprint) y a las funciones metabólicas (es decir, la recuperación entre los esfuerzos), o ambas simultáneamente. El fundamento del RST es causar tales perturbaciones al entorno metabólico muscular y la homeostasis de iones para elicitar favorables adaptaciones musculares (es decir, capacidad oxidativa, recuperación de la fosfocreatina, el almacenamiento de H<sup>+</sup>) y neuronales (es decir, la activación muscular y estrategias de reclutamiento) [2]. En un período corto de tiempo (2-5 semanas), el RST ofrece una estrategia eficaz para mejorar un rango de medidas del fitness en forma simultánea pertinente a deportes de equipo como la potencia explosiva, la velocidad de carrera, la capacidad de sprint repetido (RSA) y el rendimiento de la carrera de alta intensidad [3].

La optimización de los programas de entrenamiento requiere la manipulación cuidadosa de variables claves, con la duración del intervalo de recuperación o la relación ejercicio-recuperación (E:R) jugando un rol central [4] para lograr los cambios deseados. Con respecto a las adaptaciones del RSA, por ejemplo, los efectos de alterar el intervalo de pausa durante el ejercicio de alta intensidad han producido resultados inconsistentes. Cuando trece varones jóvenes jugadores de fútbol profesional redujeron su volumen de entrenamiento por ~20% y reemplazaron su sesión de fitness habitual con 6-8 reps de 20 segundos de carrera extrema con 40 segundos (mantenimiento de la resistencia de velocidad) o con 2 minutos (producción de resistencia de velocidad) de intervalo de pausa, el tiempo total en un test de RSA (15 x 40 m, 30 segundos de pausa pasiva) disminuyó por 2.5% con un programa de entrenamiento con pausas largas, mientras que fue muy probablemente empeorado después de una intervención usando cortas pausas [5]. Contrastando, cinco semanas de entrenamiento de la fuerza con altas repeticiones (15 a 20 repeticiones máximas, 2-5 series) con 20 segundos de descanso produjeron las mayores mejoras en el RSA (sprints 5 x 6 segundos máximos en cicloergómetro) que el mismo entrenamiento con 80 segundos de descanso (+12.5 vs +5.4%, respectivamente) [6]. Adicionalmente, mientras el rendimiento del sprint repetido se mejora después del entrenamiento intervalado, usando pausas cortas (1 minuto) no ofrecen ventaja por encima del uso de largas pausas (3 minutos) cuando se emparejan la intensidad y volumen de entrenamiento [7]. Al referirse a la definición del RST [1], sin embargo, ninguno de los estudios mencionados puede categorizarse como protocolos de RST típico. En realidad, los esfuerzos completados eran o demasiado largos (es decir, 20 segundos [5]), de intensidad sub-máxima (es decir, 92-111% de la velocidad mínima de carrera asociada con el consumo máximo de oxígeno (VO<sub>2</sub>máx) [7]), o no adoptaban un modo de carrera/bici (es decir, combinación de pesas libres y máquinas [6]), o también se caracterizaban por excesivas ( $\geq 60$  segundos) duraciones de la recuperación [5-7].

Mientras hay variación considerable en los protocolos de RST empleados con respecto a la proporción de E:R (1:2 a 1:10) [8-11], sólo un número limitado de estudios ha examinado los efectos de la duración de los intervalos de la recuperación directamente sobre los parámetros del rendimiento con el RST. Tal es un estudio, como el de Saraslanidis y cols. [12] que comparó los efectos de dos programas de intervención sobre el metabolismo muscular y el rendimiento del sprint: Las sesiones de RST fueron realizadas tres veces por semana durante 8 semanas y comprendiendo 2-3 series de dos sprints de 80-m (esfuerzos de ~10 segundos), difiriendo en el intervalo de la pausa (10 segundos vs 1 minuto). Sus resultados indicaron que entrenándose con un número limitado de sprints repetidos de 10 segundos pueden ser más eficaces en mejorar el mantenimiento de la velocidad en carreras de 200-m y 300-m realizadas con un relación E:R de 1:1 en lugar de una de 1:6. Sin embargo, debido al volumen bajo de repeticiones incluidas, el involucramiento de participantes activos pero no bien entrenados y los resultados de rendimiento restringidos a sprints de 80-300 m sprint (es decir, ningún RSA o evaluación de la resistencia), pueden limitar la relevancia/aplicabilidad del estudio mencionado a los deportes de equipo.

El objetivo de la investigación actual, por lo tanto, fue comparar los efectos del RST, con intervalos de pausa largos o cortos entre los sprints en una variedad de rendimientos de ejercicio relacionados al fútbol. Se ha indicado que disminuyendo el período de descanso entre los intervalos produce mayores perturbaciones metabólicas inducidas por el ejercicio (es decir, mayor activación de la glucólisis [12]), dando así un estímulo más fuerte a las adaptaciones. Alternativamente, también podría argumentarse que una proporción de E:R severa (1:4 a 1:1) puede impedir la calidad de entrenamiento (es decir, reducción de la velocidad inducida por la fatiga) a una magnitud que podría llevar a una menor mejora en los resultados de rendimientos claves (es decir, velocidad máxima de sprint) [5]. Nosotros supusimos que el RST con intervalos de pausa más cortos aumentaría la capacidad para tolerar el desarrollo de la fatiga y sostener esfuerzos supramáximos, mientras que el RST con intervalos de pausa más largos mantendría un estímulo más fuerte mejorando la velocidad total.

## MÉTODOS

---

### Participantes

Diecinueve (edad 17.0±1.0 años, altura 178±10 cm, masa corporal 69.2±8.0 kg) jugadores de fútbol de sub-élite varones jóvenes pertenecientes al mismo club profesional, tomaron parte en el estudio de intervención del entrenamiento. Todos

los participantes tenían un mínimo de 5 años de experiencia, estaba regularmente envueltos en competiciones de nivel nacional y ninguno de ellos estaba bajo medicación. Antes de dar su consentimiento informado por escrito para participar, los participantes o padres/tutores (si el sujeto era menor) estaban totalmente informados de cualquier posible riesgo y molestias asociadas con los procedimientos experimentales. El estudio fue aceptado por el comité ético local (*Commission cantonale vaudoise d'éthique de la recherche sur l'être humain*, CCER-VD 308/13) según los Códigos de Ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki).

### Diseño experimental.

Un diseño experimental de dos grupos paralelos, de igual trabajo (distancia del sprint), longitudinal (Pre-test, Post-test), fue utilizado para evaluar los cambios en el rendimiento físico relacionado al fútbol inducidos por dos protocolos de RST diferentes. Para asegurar que ambos grupos presentaran iguales registros promedio de pre-entrenamiento para cada test de rendimiento, los jugadores se emparejaron según sus rendimientos físicos iniciales (Pre-test) y fueron designados al azar a un RST con pausas cortas (5-15; n = 9) o a uno con pausas largas (5-30; n = 10). Un grupo de control (n = 10), que realizaba su entrenamiento habitual e igualmente emparejado por las características antropométricas (edad  $17.2 \pm 0.4$  años, altura  $179 \pm 5$  cm, masa corporal  $73.3 \pm 4.9$  kg) y nivel competitivo con los dos grupos experimentales, tomó parte en el estudio. El estudio se dirigió durante la temporada competitiva (noviembre-enero) e incluía: 1) evaluación de pre-entrenamiento, 2) un período de entrenamiento de intervención de 5 semanas, y 3) evaluación de post-entrenamiento.

### Intervención de entrenamiento.

Antes de la intervención, los jugadores realizaban cuatro sesiones de entrenamiento (es decir, lunes, martes, miércoles, jueves) y un partido de tiempo completo (sábado) por semana. La duración de todas las sesiones de entrenamiento era de 90-120 minutos y abarcaba actividades de preparación/calentamiento individual, desarrollo de habilidades de técnicas/tácticas, acondicionamiento físico y estrategias de recuperación activa. Antes de la intervención, los jugadores realizaban cuatro sesiones de entrenamiento (es decir, lunes, martes, miércoles, jueves) y un partido de tiempo completo (sábado) por semana. La duración de todas las sesiones de entrenamiento era de 90-120 minutos y abarcaba actividades de preparación/calentamiento individual, desarrollo de habilidades de técnica/táctica, acondicionamiento físico y estrategias de recuperación activa. El trabajo del fitness típico comprendió ejercicios de prevención de lesiones y entrenamiento aeróbico de moderada/alta intensidad los lunes, entrenamiento de la fuerza y juegos reducidos los martes, agilidad con cambios de dirección los miércoles y driles con los pies los jueves. Durante el período de la intervención de 5 semanas, las sesiones de entrenamiento intervalado habitual y de agilidad se realizaban en lunes y miércoles, respectivamente, fueron reemplazadas por el ejercicio de RST específico, mientras que la pausa de la rutina del programa semanal fue mantenida igual que antes del estudio. El programa de RST detallado se muestra a en la Tabla 1. Los jugadores del grupo de control continuaron su programa de entrenamiento semanal ordinario como antes de la intervención.

**Tabla 1.** Programa de entrenamiento de Sprint repetido.

| Semana | Sesión de Entrenamiento | Volumen de Entrenamiento de Sprint Repetido | Recuperación (e/series) |
|--------|-------------------------|---|-------------------------|
| 1      | 1                       | 1 serie x 6 reps                            | -                       |
| 2      | 2                       | 1 serie x 6 reps                            | -                       |
| 2      | 3                       | 2 series x 6 reps                           | 2 minutos               |
| 3      | 4                       | 2 series x 6 reps                           | 2 minutos               |
| 3      | 5                       | 2 series x 6 reps                           | 2 minutos               |
| 4      | 6                       | 2 series x 6 reps                           | 2 minutos               |
| 4      | 7                       | 3 series x 6 reps                           | 2 minutos               |
| 5      | 8                       | 3 series x 6 reps                           | 2 minutos               |

El protocolo 5-15 consistió en 6 repeticiones de sprints de ~5-segundos entremezclados con 15 segundos de recuperación pasiva, mientras que el protocolo 5-30 se caracterizó por 6 sprints de ~5-segundos seguidos por 30 segundos de recuperación pasiva entre las repeticiones. Durante cada turno de ~5-segundos, los jugadores llevaron a cabo un único esfuerzo máximo de carrera de 30 m en línea recta. Durante la primera y última sesión de entrenamiento, los tiempos de sprint fueron registrados con el uso de celdas fotoeléctricas portátiles (Optojump, Microgate, Bolzano, Italia). En suma, se tomaron muestras de sangre capilar del lóbulo de la oreja antes del sprint 1 e inmediatamente después del sprint 6 de la

primera serie del protocolo de RST durante la primera y última sesiones de entrenamiento. La concentración del lactato sanguíneo ([La]) se analizó usando un dispositivo portátil (Lactate Pro™, Arkray factory inc., KDK Corporation, Shiga, Japón).

Todas las sesiones de entrenamiento tuvieron lugar sobre césped artificial y fueron supervisadas cuidadosamente. Ningún otro ejercicio físico se hizo aparte del prescrito en el ambiente del fútbol. Para minimizar cualquier interferencia potencial de variables externas, los jugadores mantuvieron su estilo de vida estándar e ingesta de comida durante la fase experimental.

### Tests de rendimiento

Todos los tests de rendimiento se llevaron a cabo dentro de 10 días antes del comienzo y después de la cesación de la intervención e incluyeron: i) sprint de 20 m y ii) sprint de 200 m, iii) Yo-Yo test de recuperación intermitente Nivel 2 (YoYo IR2), iv) un test de RSA, y v) un test de fitness submáximo aeróbico [13].

Los tests fueron distribuidos en cuatro ocasiones experimentales diferentes (es decir tres durante la semana 1 y uno en la 2da, 72 hrs después del partido) siguiendo el mismo orden de pre- y post-intervención. La evaluación siempre se empezaba después de 15 minutos de precalentamiento estandarizado en césped artificial (salvo el test de sprint de 200 m y el test de fitness aeróbico que se corrieron en una pista sintética) bajo las mismas condiciones ambientales. Todos los jugadores fueron acostumbrados con los procedimientos de la evaluación (como parte de su valoración del rendimiento físico regular) antes de comenzar el estudio.

En los días de evaluación, los participantes se reportaron a la pista o al campo de juego ~3 hs después de haber consumido una comida ligera. Ellos también se abstuvieron de hacer actividad física intensa y se abstuvieron del consumo de alcohol y de cafeína 24 hs antes de la evaluación. Para reducir un posible efecto de cambios en el metabolismo muscular y el rendimiento del ejercicio subsecuente inducidos por la dieta, dos días antes de cualquier análisis experimental los participantes fueron exigidos a seguir una estrategia nutricional diseñada para asegurar una ingesta de carbohidratos adecuada (~60% de la ingesta energética total) y registrar y reproducir su patrón dietético individual durante 48 hs antes de cada día de la evaluación.

#### Test de sprint de 20 m.

El rendimiento del sprint corto se evaluó en una distancia de 20 m. El tiempo fue registrado usando celdas fotoeléctricas (Optojump, Microgate, Bolzano, Italia). Los jugadores empezaban el sprint desde una posición de pie con el pie frontal puesto 10 cm detrás de la primera verja del cronometraje. Solamente el mejor rendimiento se consideró de las tres pruebas. Cada sprint de 20 m estaba separado por 1.5 minutos de recuperación pasiva.

#### Test de sprint de 200 m.

Una carrera extrema se realizó sobre 200 m. Los tiempos registrados fueron obtenidos como previamente fue descrito en el test de sprint de 20 m. La alta confiabilidad del test de sprint de 200 m fue reportada (coeficiente de variación:  $0.8 \pm 0.7\%$ ) en jugadores de norma similar [5].

#### Test Yo-Yo IR2.

El Yo-Yo test de recuperación intermitente que Nivel 2 consistió en carreras de ida y vuelta en 20 m a velocidades crecientes, entremezclados con 10 segundos de recuperación activa, controlado por señales de audio. El test finalizaba cuando el participante no era capaz para mantener la velocidad requerida y la distancia lograda se registraba como resultado [14].

#### Test RSA.

El test de RSA consistió en 15 repeticiones de sprints de 40 m rectilíneos entremezclados con 30 segundos de recuperación pasiva [15, 16]. El tiempo era medido con celdas fotoeléctricas (Optojump, Microgate, Bolzano, Italia). El tiempo total del sprint (RSAt) para todos los 15 sprints fue determinado. En suma, para cuantificar la fatiga durante el test de RSA, el resultado del porcentaje de disminución (RSASdec) fue calculado como sigue [17]:

$$RSA_{Sdec} = \left[ \frac{(S_1 + S_2 + S_3 + \dots + S_{final})}{S_{mejor} \times \text{número de sprints}} - 1 \right] \times 100$$

La alta confiabilidad reportada para el test de RSA actualmente (coeficientes de variación para RSA<sub>t</sub> y RSA<sub>sdec</sub> de  $1.2 \pm 0.9\%$  y  $16.8 \pm 14.9\%$ , respectivamente [5]) en jugadores de norma similar también está en la línea con los registros de confiabilidad de otros protocolos de RSA [10, 18].

### **Test de fitness aeróbico.**

El test de fitness aeróbico consistió en una carrera de 6 minutos a una velocidad constante de 13.5 km/h [13]. Una muestra de sangre capilar fue extraída del lóbulo de la oreja inmediatamente después del final del test y la [La] fue analizada (ver *Intervención del Entrenamiento*).

### **Análisis estadístico**

La distribución de la normalidad de cada variable se examinó con el test de Shapiro-Wilk. Un t-test no apareado fue usado para asegurar que ninguna diferencia de entre grupo existió en las mediciones de Pre-test. Se analizaron los datos usando un ANOVA de dos factores de medidas repetidas con un factor 'dentro' (tiempo: Pre-test vs Post-test) y un factor 'entre' (grupo: 5-15 vs 5-30). Cuando un efecto principal significativo era descubierto, un análisis post hoc de Student-Newman-Keuls fue aplicado para la comparación múltiple de pares. Un t-test de dos en dos fue aplicado para evaluar las diferencias de Pre-a-Post en los rendimientos de únicos sprints del test de RSA.

En suma, para el test de una hipótesis nula, para permitir una mejor interpretación de los resultados, las significancias prácticas fueron verificados usando un método estadístico basado en las magnitudes de cambio [19]. Para comparaciones de entre y dentro de los grupos, las chances de que los verdaderos cambios promedio después de cada programa de entrenamiento fueran beneficiosos (es decir, mayor que el cambio que vale la pena más pequeño, SWC [0.2 multiplicado por la desviación estándar intra-sujeto]), pocos claros/triviales o dañosos para el rendimiento fue calculado. Las oportunidades cuantitativas de los cambios beneficiosos, triviales, o dañosos se evaluaron cualitativamente como sigue: 25-75%, posiblemente; 75-95%, probablemente; 95-99%, muy probablemente; y >99%, casi ciertamente. Si las oportunidades de tener los cambios del rendimiento beneficiosos o dañosos eran ambos >5%, la verdadera diferencia era definida como incierta [19]. Es más, el tamaño del efecto (ES) de los cambios en cada parámetro del rendimiento fue calculado usando la desviación estándar de Pre-entrenamiento agrupada [20] y fue utilizado para expresar las diferencias de los cambios estandarizados dentro de y entre los grupos. El nivel de significancia estadística fue fijado para todos los análisis en  $p < 0.05$ . Los datos brutos son presentados como promedios  $\pm$ SD, mientras que los cambios relativos son significativos en  $\pm 90\%$  intervalos de confianza.

## **RESULTADOS**

### **Complacencia del entrenamiento y las respuestas del entrenamiento.**

Los diecinueve jugadores reclutados para la intervención tuvieron un cumplimiento del entrenamiento de >85%, y por lo tanto, fueron todos incluidos en el último análisis. Ninguna lesión ocurrió durante el período de intervención. Ninguna diferencia ( $p > 0.5$ ) se observó entre los dos grupos de RST en cualquiera de las mediciones de pre-test.

Durante la primera sesión de entrenamiento 5-15, la velocidad promedio de carrera del sprint 1 a 6 disminuyó un 2.7% ( $p = 0.048$ ), mientras sólo tendió a reducirse durante la última sesión de entrenamiento. En esta ocasión, la velocidad de carrera alcanzada durante la última repetición (sprint 6) fue más rápida ( $p = 0.049$ ) durante la última ( $23.4 \pm 0.5$  km/h) comparada a la primera ( $22.7 \pm 0.5$  km/h) sesión de entrenamiento. En el grupo 5-30, no se observó ningún cambio significativo en la velocidad entre el sprint 1 y 6 durante tanto la primera como la última sesión de entrenamiento (Tabla 2).

**Tabla 2.** Velocidad de carrera del sprint promedio y la respuesta del lactato sanguíneo a un turno de protocolo de entrenamiento de sprints repetidos de 5-15 o de 5-30 durante la primera y la última sesión de entrenamiento.

|                           |                  | 5-15                   |                         | 5-30                   |                        |
|---------------------------|------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
|                           |                  | 1° Sesión              | Última Sesión           | 1° Sesión              | Última Sesión          |
| Velocidad Promedio (km/h) | Sprint 1         | 23.3 ± 0.8             | 24.0 ± 0.8              | 23.7 ± 0.8             | 24.0 ± 0.9             |
|                           | Sprint 6         | 22.7 ± 0.5*            | 23.4 ± 0.5 <sup>†</sup> | 23.4 ± 0.8             | 24.0 ± 1.3             |
| [La] (mmol/L)             | Antes Sprint 1   | 3.1 ± 0.8              | 3.6 ± 1.1               | 3.5 ± 1.1              | 3.4 ± 1.0              |
|                           | Después Sprint 6 | 9.3 ± 1.6 <sup>§</sup> | 9.3 ± 2.0 <sup>§</sup>  | 6.6 ± 1.8 <sup>§</sup> | 6.0 ± 1.3 <sup>§</sup> |

\* Diferente (p <0.05) de la primera sesión de entrenamiento.

† Diferente (p <0.05) del protocolo 5-15.

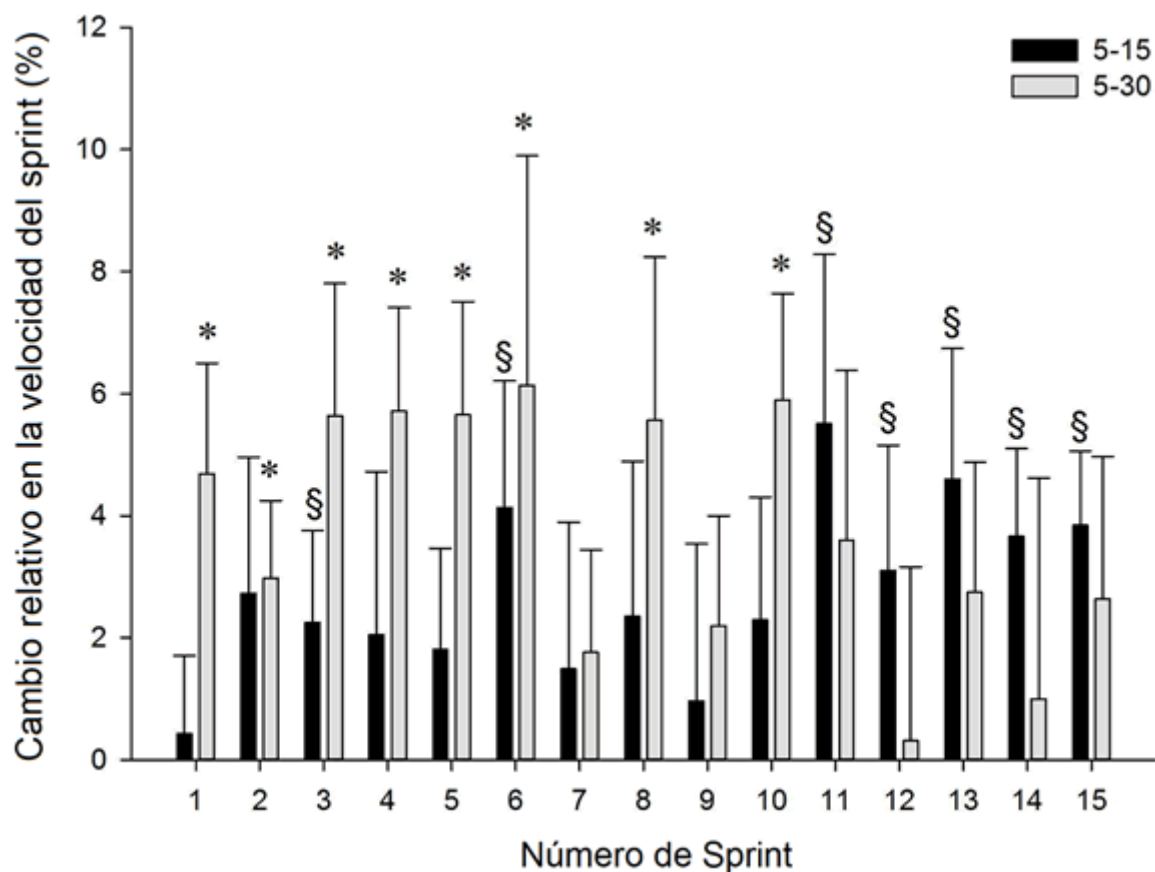
\* Diferente (p <0.05) del Sprint 1.

§ Diferente (p <0.05) de antes del Sprint 1.

En el protocolo 5-15, durante la primera sesión de entrenamiento, la [La] aumentó (p <0.05) de 3.1 ± 0.8 mmol/L antes del sprint 1 a 9.3 ± 1.6 mmol/L después del sprint 6, que fueron lo mismo después de la intervención. En el protocolo 5-30, la [La] post-ejercicio aumentó (p <0.001) el doble pero fue significativamente bajo comparado con el protocolo 5-15 durante tanto la primera (p <0.05) como la última sesión de entrenamiento (p <0.01) (Tabla 2).

### Rendimiento

Los resultados del rendimiento para los grupos de RST se reportan en la Tabla 3. El protocolo 5-30 mejoró el tiempo del sprint de 20 m por 2.7% (p = 0.004), mientras que sólo una tendencia se observó en el protocolo 5-15 (1.5%; p = 0.086). En el protocolo 5-15, los rendimientos de sprint de 200 m y del test Yo-Yo IR2 mejoraron por 2.0% (p = 0.02) y por 11.4% (p = 0.005), respectivamente, mientras ningún cambio ocurrió en el protocolo 5-30 (p >0.097). Ambos protocolos 5-15 y 5-30 indujeron mejoras en RSA<sub>at</sub> (p <0.001) y RSA<sub>sdec</sub> (p <0.05) después de la intervención. Además, el protocolo 5-15 mejoró el rendimiento en los sprints 3°, 6° y del 11° a 15° del test de RSA (p <0.05), mientras que los incrementos de velocidad fueron notorios del 1° al 6° y en el 8° y 10° sprint en el protocolo 5-30 (p <0.05) (Fig. 1). Después del test de fitness aeróbico, la [La] fue 0.9 ± 0.8 y 1.1 ± 1.4 mmol/L más bajos (p <0.05) después de las intervenciones 5-15 y 5-30, respectivamente, sin diferencia entre los grupos.



**Figura 1.** Cambios relativos (%  $\pm$  90% CI) en la velocidad promedio de carrera durante los sprint del test de RSA. § Diferencia significativa del pre-a-post en el protocolo 5-15 ( $p < 0.05$ ). \* diferencia significativa de pre-a-post en el protocolo 5-30 ( $p < 0.05$ ).

**Tabla 3.** Cambios en el rendimiento después de los protocolos 5-15 y 5-30 de sprints repetidos.

|                                   | 5-15 (n = 9)     |                   |                       |  |   |                        |
|-----------------------------------|------------------|-------------------|-----------------------|--|---|------------------------|
|                                   | Pre              | Post              | % Cambio $\pm$ 90% CI | Cambio estandarizado (d de Cohen $\pm$ 90% CI) | % chances de efecto detrimental/trivial/beneficioso | Inferencia cualitativa |
| 20 m (seg)                        | 3.30 $\pm$ 0.09  | 3.25 $\pm$ 0.06   | -1.5 $\pm$ 1.3        | -0.51 $\pm$ 0.45                               | 1/10/89   | Probable               |
| 200 m (seg)                       | 29.60 $\pm$ 0.90 | 29.01 $\pm$ 0.83* | -2.0 $\pm$ 1.5        | -0.60 $\pm$ 0.44                               | 1/6/93  | Probable               |
| Yo-Yo IR2 (m)                     | 1000 $\pm$ 169   | 1111 $\pm$ 171*   | 11.4 $\pm$ 5.0        | 0.56 $\pm$ 0.24                                | 0/1/99  | Muy probable           |
| RSA <sub>t</sub> (seg)            | 92.91 $\pm$ 4.66 | 90.47 $\pm$ 4.24* | -2.6 $\pm$ 1.1        | -0.47 $\pm$ 0.21                               | 0/2/98  | Muy probable           |
| RSA <sub>Sdec</sub> (%)           | 5.90 $\pm$ 2.21  | 4.12 $\pm$ 1.57*  | -30.6 $\pm$ 15.1      | -0.72 $\pm$ 0.43                               | 0/3/97  | Muy probable           |
| Test de Fitness Aeróbico (mmol/L) | 5.49 $\pm$ 2.22  | 4.35 $\pm$ 1.31*  | -17.5 $\pm$ 7.2       | -0.64 $\pm$ 0.29                               | 0/1/99  | Muy probable           |

| 5-30 (n = 10) |               |                     |  |  |                           |
|---------------|---------------|---------------------|--|--|---------------------------|
| Pre           | Post          | % Cambio<br>±90% CI | Cambio<br>estandarizado<br>(d de Cohen<br>±90% CI) | % chances<br>de efecto<br>detrimento/<br>trivial/<br>beneficioso | Inferencia<br>cualitativa |
| 3.29 ± 0.08   | 3.21 ± 0.08*  | -2.7 ± 1.6          | -1.12 ± 0.68                                       | 0/2/98   | Muy probable              |
| 29.56 ± 1.11  | 29.17 ± 1.12  | -1.3 ± 1.4          | -0.32 ± 0.34                                       | 1/25/74  | Posible                   |
| 1016 ± 217    | 1072 ± 156    | 6.5 ± 7.3           | 0.29 ± 0.32  | 1/30/69  | Posible                   |
| 91.45 ± 4.35  | 88.22 ± 4.65* | -3.6 ± 0.9          | -0.70 ± 0.17                                       | 0/0/100  | Casi cierto               |
| 5.19 ± 2.09   | 3.67 ± 1.67*  | -30.4 ± 13.2        | -0.86 ± 0.45                                       | 0/1/99   | Muy probable              |
| 5.71 ± 1.53   | 4.77 ± 1.59*  | -18.0 ± 11.2        | -0.40 ± 0.27                                       | 0/10/90  | Probable                  |

\* Diferencia significativa de Pre (p <0.05)

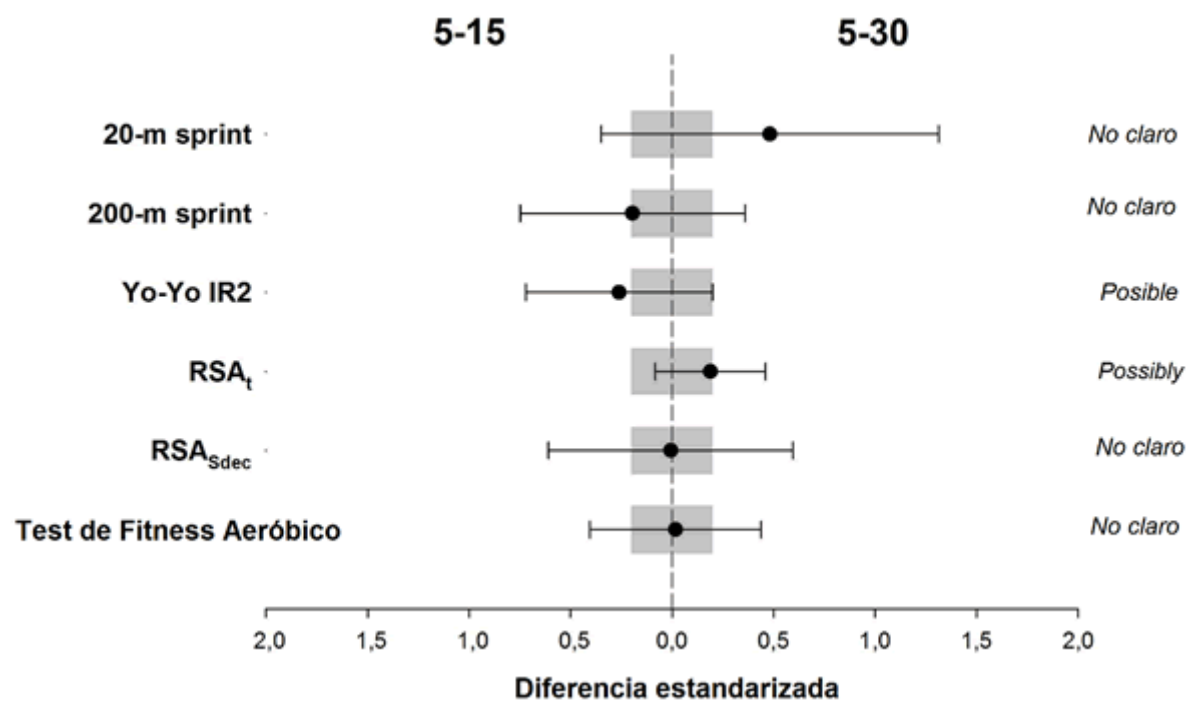
Ninguna de las variables del rendimiento difirieron ( $p > 0.05$ ) entre el pre-test y el post-test en el grupo de control (20 m:  $3.11 \pm 0.09$  vs  $3.05 \pm 0.33$  segundos; 200 m:  $26.83 \pm 0.84$  vs  $28.51 \pm 0.92$  segundos; Yo-Yo IR2:  $688 \pm 146$  vs  $704 \pm 181$  m; RSAt:  $89.19 \pm 1.48$  vs  $89.21 \pm 1.53$  segundos; RSASdec:  $5.55 \pm 2.81$  vs  $5.52 \pm 2.59\%$ ; test de fitness aeróbico:  $5.12 \pm 1.74$  vs  $4.98 \pm 1.92$  mmol/L).

### El método basado en la magnitud.

Los cambios relativos y estandarizados y las inferencias cualitativas del análisis de dentro del grupo se presentan en la Tabla 3.

Se presentan los cambios entre los grupos en la Fig. 2. Los cambios en el rendimiento del Yo-Yo IR2 test fueron *posiblemente* mejores después del protocolo 5-15 comparado al protocolo 5-30. Al contrario, el protocolo 5-30 indujo en forma posible las mayores mejoras en RSAt que las observadas con el protocolo 5-15. Las diferencias en los cambios en los tests de 20 m, de 200 m, de RSASdec y del fitness aeróbico fueron *poco claros*.





**Figura 2.** Los efectos del protocolo 5-15 comparado con el protocolo 5-30 sobre el tiempo de sprint de 20 m y de 200 m, el rendimiento del Yo-Yo IR2 test, el tiempo de sprint total (RSA<sub>t</sub>) y el porcentaje de caída del tiempo (RSA<sub>Sdec</sub>) del test de capacidad de sprint repetido, y el rendimiento en el test de fitness aeróbico.

Se presentan los datos como diferencia estandarizada (*d* de Cohen) ± 90% CI.

## DISCUSIÓN

El mayor hallazgo del presente estudio fue que el protocolo 5-15 mejoró el rendimiento de sprint de 200 m y del Yo-Yo IR2 test mientras que el protocolo 5-30 redujo el tiempo en un test de sprint de 20 m. Ambos programas de RST provocaron cambios positivos en el fitness aeróbico y en la capacidad RSA (RSA<sub>t</sub> y RSA<sub>Sdec</sub>) con posiblemente mayores mejoras en el RSA<sub>t</sub> después del protocolo 5-30 comparado al protocolo 5-15.

### Respuestas del entrenamiento

Los intervalos de pausa cortos (es decir, 15 segundos) entre esfuerzos máximos (30 m o ~5 segundos) durante el entrenamiento produce una incapacidad para mantener el rendimiento del sprint constante (la RSA no fue alterada en el protocolo 5-30), con este efecto tornándose menos evidente durante la última sesión de entrenamiento. Las recuperaciones más cortas también pusieron mayor énfasis en la producción de energía glucolítica, como fue demostrado por la mayor elevación significativa en los valores de la [La] en el protocolo 5-15 vs 5-30, aún con valores inalterados de la [La] luego de ambas intervenciones de entrenamiento. De importancia, nuestra intervención del RST se llevó a cabo 'en temporada' y utilizó un diseño con el que el RST reemplazó el trabajo de acondicionamiento de campo usual para mantener la carga de entrenamiento similar antes de y durante el período de la intervención así como entre los grupos en una cohorte de jugadores jóvenes de fútbol entrenados.

### Sprint de 20 m

Un efecto *posiblemente moderado* del RST sobre el rendimiento del sprint de 20 m (diferencia promedio; ±95% límites de confianza: -0.07 segundos; ±0.08) se ha resaltado en un reciente meta-análisis [3]. En nuestro estudio, una pausa larga (es decir, 30 segundos) entre los sprints permitió el mantenimiento de una velocidad superior del sprint a lo largo de las repeticiones (durante el entrenamiento) y produjo una mejora significativa en el rendimiento del sprint de 20 m, que al contrario no cambió significativamente al emplear una pausa corta (es decir, 15 segundos). Esto es consistente con Fernández-Fernández y cols. [9] quienes demostraron que 6 semanas de RST (18 sesiones de entrenamiento en total),

empleando 3 series de diez sprints de ~5-segundos lanzados entremezclados con pausas relativamente cortas (20 segundos) entre las repeticiones (proporción de E:R de 1:4), no tuvieron efecto sobre los tiempos de sprint de 20 m. Tomados juntos, estos resultados parecen indicar que la magnitud del cambio es una consecuencia directa del protocolo de RST o proporción de E:R utilizada, con la reiteración de la velocidad máxima durante cada turno de ejercicio constituyendo un elemento clave para la mejora del rendimiento único de sprint. Los mecanismos que apuntala tal mejora también podría ser, entre otros, atribuido a los cambios beneficiosos en los patrones de activación del músculo (es decir, la co-contracción reducida, un reclutamiento más grande del grupo del músculo glúteo menor que contribuye a una extensión de la cadera más eficaz para lograr una velocidad más rápida) [21].

### **Sprint de 200 m**

Después de la intervención, una mejora significativa en el rendimiento del sprint de 200 m se observó con el protocolo 5-15, mientras sólo posibles cambios beneficiosos fueron notados en el protocolo 5-30. De forma consistente, un mayor efecto en la mejora del tiempo del sprint de 200 m se observó después del entrenamiento de mantenimiento de la resistencia de velocidad (proporción 1:3 de E:R) comparado con el entrenamiento de la producción de la resistencia de velocidad (proporción 1:6 de E:R) [5] o cuando sprints repetidos de 10 segundos se llevaron a cabo con intervalos de pausa de 10 segundos (proporción 1:1 de E:R) en lugar de 60 segundos (proporción 1:6 de E:R) [12]. Todo esto indica que un programa de entrenamiento de pausas cortas vs largas mantiene estímulos más fuertes mejorando la capacidad de los músculos activos para conservar el decremento de la velocidad y sostener el ejercicio de corta duración supra-máximo que promedia los 30 segundos, como durante una carrera de 200 m cuando la glucólisis es la fuente de energía predominante [22]. Los mecanismos que subyacen en la mayor mejora en el rendimiento de 200 m con las proporciones de E:R más estrechas durante entrenamiento, por lo tanto, podrían incluir una activación mayor de la glucólisis, causada en parte por la resíntesis limitada de fosfocreatina debido a la recuperación acortada. En apoyo de esto, la caída en la fosfocreatina y los aumentos en los productos de degradación del glucógeno (la glucosa-6-fosfato y la fructosa-6-fosfato) después de dos sprints de 80 m luego de 8 semanas de entrenamiento de sprint, fue mayor en el programa de entrenamiento de corta pausa vs pausa larga [12].

### **Capacidad del ejercicio intermitente de alta intensidad**

El rendimiento del Yo-Yo IR2 test, que explica el 40% de la variancia en la distancia de juego de alta intensidad en el fútbol [23], no sólo exige altamente el sistema energético aeróbico sino también el sistema energético anaeróbico durante las aceleraciones inherentes con los cambios de dirección consecutivos [14]. En el presente estudio, la distancia cubierta durante el Yo-Yo IR2 test aumentó significativamente por 11.4% de pre - al post-entrenamiento en el protocolo 5-15 representando un posible mejor cambio que el 6.5% de aumento no significativo observado en el protocolo 5-30. Una explicación creíble para la mejora del rendimiento más grande con un programa de entrenamiento de pausas cortas vs pausas largas, podría relacionarse a un estímulo más fuerte del metabolismo aeróbico y anaeróbico (láctico) [1]. Independiente de la duración de los intervalos de la pausa, las ganancias inducidas por el entrenamiento sobre el rendimiento intermitente de alta intensidad son consistentes con aquellos estudios previos que involucran a individuos entrenados (+8-10% [24, 25]) pero más bajas que las mejoras que generalmente van del 14 al 29%, vistas después de 2-7 semanas de RST los jugadores de deportes de equipo (Yo-Yo IR2 en el fútbol [10, 26]; rugby [27]; hockey en césped [28]) y raquet (Hit and Turn tennis test en el tenis [9]). En suma, a las diferencias en el contenido/modalidad del RST (es decir, proporción de E:R, carreras en línea recta/en 'shuttle'), diferentes respuestas de entrenamiento entre nuestros resultados y los resultados de la literatura pueden en parte estar relacionadas al período de la temporada (temporada competitiva vs pretemporada [29]) y las características (jugadores sub-élite vs jugadores aficionados o Sub-18 vs otros grupos etarios [30]) de los individuos evaluados.

### **Capacidad de sprint repetido**

A pesar de la diferente proporción de ejercicio y pausa, los programas de RST actuales indujeron mejoras sustanciales en la fatigabilidad del rendimiento (es decir, reducciones similares en el RSASdec promediando ~30%) a lo largo de los quince sprints de carrera. Tal capacidad mejorada para recuperarse entre los sprints consecutivos puede relacionarse a la especificidad del RST para inducir cambios positivos en la homeostasis de iones y capacidad de tamponamiento ('buffer') y promover un fenotipo oxidativo en el músculo esquelético [2]. Ambos programas de entrenamiento también confirieron cambios beneficiosos significativos en el tiempo del sprint total (RSAt), con mejoras que son *posiblemente mayores* en el protocolo 5-30 comparado al protocolo 5-15. En conjunto, las ganancias de RSA observadas aquí estaban en el rango superior para RSASdec (0-39%) y en el rango inferior para RSAt (1.5-8.8%) comparado a lo que ha sido previamente reportado en jugadores de deportes de equipo [8, 10, 11, 27, 31] y tenistas [9] así como en individuos recreativamente entrenados [24, 25, 32, 33] después de los regímenes de RST similares dirigidos durante 4-7 semanas. En un meta-análisis, un efecto beneficioso *posiblemente moderado* del RST en la RSA (tamaño del efecto -0.62; 95% límites de confianza  $\pm$  0.25) fue encontrado a partir del análisis de 8 estudios [3]. Las adaptaciones neuromusculares o las mejoras de la potencia aeróbica máxima (es decir, mayor aporte de oxígeno al tejido muscular, concentración de enzimas aeróbicas, tamaño y

número mitocondrial, y densidad capilar) o la capacidad anaeróbica (es decir, mejor resíntesis de la fosfocreatina, sobrerregulación de enzimas glucolíticas claves, mayor aclaramiento del lactato y elevación del fosfato inorgánico así como mayor capacidad 'buffer' muscular) se han identificado como factores adaptativos cruciales para una mejor tolerancia a los esfuerzos máximos repetidos [2, 34]. Es importante remarcar que la mejora en el RSAt fue posiblemente mayor en el protocolo 5-30 comparado al protocolo 5-15. Esta observación indica que llevándose a cabo intervalos de pausa más largos durante el RST pueden sobrerregular ampliamente algunos de los mecanismos antes mencionados y, por consiguiente, inducir beneficios superiores en el rendimiento del sprint repetido. Una mejora similar en la fatigabilidad del rendimiento (RSASdec) después de ambas intervenciones de entrenamiento ocurrieron simultáneamente con las ganancias más grandes vistas en el protocolo 5-30 para tanto el único sprint (el primer esfuerzo de las series de sprint repetido) como el rendimiento promedio (RSAt). Esta nueva información indica que el RST con una pausa larga en lugar de una pausa corta puede ser más eficaz en mejorar la RSA en jugadores de fútbol jóvenes.

Otra observación interesante es que el cambio relativo en la velocidad del sprint fue mayor durante el primer tercio del test de RSA en el protocolo 5-30, mientras que mayores mejoras (velocidad) fueron notadas en el último tercio de las series de sprint repetido en el protocolo 5-15 (Fig. 1). Aunque la contribución de la fosforilación oxidativa al gasto energético total durante un único sprint corto es limitada, el nivel de provisión aeróbica de ATP aumenta progresivamente en tanto los sprints sean repetidos [35], de tal forma que el metabolismo aeróbico puede contribuir tanto como el 40% del aporte de energía total durante las últimas repeticiones de una serie de sprint repetido [36]. Con el VO<sub>2</sub>máx siendo alcanzado durante los últimos sprint de un test de RSA que se parece a uno realizado aquí (15 x 40 m, 25 segundos de pausa [16]), esto indica que el VO<sub>2</sub>máx puede limitar la contribución del metabolismo aeróbico. También, las mayores ganancias inducidas por el RST para el protocolo 5-15 vs el protocolo 5-30 en la distancia cubierta durante el Yo-Yo IR2 test proveen una evidencia indirecta de que el aumento del VO<sub>2</sub>máx a una magnitud mayor pueden permitir una contribución aeróbica superior durante los últimos sprint, minimizando potencialmente la fatiga (es decir, mayor cambio relativo en la velocidad del sprint).

### Capacidad aeróbica

Una respuesta más baja de la [La] fue observada en el post-entrenamiento después de correr a velocidad constante. Esto puede ser el resultado de tanto un mayor aclaramiento del lactato desde la sangre y de una menor producción de lactato (ninguna posible distinción aquí), lo cual ha sido asociado con un aumento en la actividad de las enzimas oxidativas y una oxidación de grasas elevada [37]. Es interesante observar que un aumento en el contenido de los transportadores monocarboxilasa 1 (ningún cambio en la isoforma 4), un regulador dominante del pH muscular durante y después del ejercicio intenso repetido, se ha observado en respuesta a un período de entrenamiento de sprints intermitentes de 8 semanas (30 sesiones que incluían sprints 15 x 6 segundos con 1 minuto de recuperación activa) [24]. Cualquiera que sean los mecanismos exactos de apoyo de los sistemas de regulación del pH, nuestros resultados mostraron que el RST puede reducir la [La] a una determinada intensidad submáxima fija (13.5 km/h). Sin embargo, alterando el intervalo de descanso durante el entrenamiento (5-15 vs 5-30) no afecta la magnitud de los cambios en la [La]. Discho esto, una mejor prescripción de evaluación de ejercicio podría requerir que la reserva de velocidad anaeróbica (es decir, la diferencia entre la velocidad de sprint máxima y la velocidad de carrera mínima asociadas con el VO<sub>2</sub>máx [1]), sea sistemáticamente reevaluada durante las sesiones pre- y post-test con el propósito de determinar velocidades de carrera individualizadas.

## CONCLUSIÓN

A nuestro conocimiento, este estudio es el primero en comparar el efecto de dos programas de RST, difiriendo en los intervalos de la pausa entre los sprint (proporciones de E:R de 1:3vs 1:6), sobre distintos tipos de rendimientos del ejercicio relacionados al fútbol. Nuestros resultados principales son como sigue: primero, aunque el protocolo 5-15 mejoró el rendimiento de 200 m y tuvo un impacto positivo probable en el rendimiento del sprint de 20 m, el protocolo 5-30 bajó el tiempo del sprint de 20 m pero sólo fue posiblemente eficaz para mejorar el rendimiento de 200 m. Segundo, la distancia cubierta en el Yo-Yo IR2 test aumentó después del protocolo 5-15, lo que fue posiblemente mejor que el cambio no significativo observado en el protocolo 5-30. Tercero, ambas intervenciones del RST llevaron a reducciones beneficiosas significativas similares en la [La] después del ejercicio submáximo así como en la marca del decremento del porcentaje y tiempo total en un test de RSA, con posiblemente mayores mejoras en el RSAt después del protocolo 5-30 comparado al protocolo 5-15. En jugadores de fútbol profesionales jóvenes, el RST en un período de temporada de 5 semanas es un medio eficaz para desarrollar simultáneamente diferentes componentes del fitness relevantes al rendimiento de un partido, con distintos beneficios inducidos por los intervalos de pausa más cortos o más largos.

### Aplicaciones prácticas

A pesar de la eficiencia probada del RST para mejorar una gama amplia de componentes del fitness del rendimiento del fútbol, hay todavía un debate considerable sobre el entrenamiento más apropiado para adoptar (por ejemplo, para aumentar las ganancias de RSA [2, 38]). La observación de que intervalos cortos vs intervalos largos de pausa inducen adaptaciones específicas, sin embargo, apoya la visión común de que no hay un tipo de entrenamiento que pueda recomendarse para mejorar el rendimiento físico en los deportes de equipo [2, 5]. Adicionalmente, comparaciones directas entre la efectividad del RST y entrenamiento intervalado de alta intensidad han demostrado que el último puede ser una intervención más eficaz para mejorar el tiempo promedio de RSA en jugadores de hándbol jóvenes [32] así como el fitness aeróbico específico deportivo en tenistas [9] y en individuos sanos [24], pero también se han reportado resultados opuestos [10]. Es más, en jugadores de rugby, el entrenamiento de RST combinado y de fuerza (realizar sentadilla) con vibración superpuesta fue sugerido para ser más ventajoso para mejorar el rendimiento del sprint repetido que el RST sólo [31]. Finalmente, agregando un estrés hipóxico al RST, grandes mejoras del rendimiento de sprint repetido de corto plazo (2-6 semanas) han sido reportados comparado al entrenamiento similar a nivel del mar [26, 27, 39]. Mientras las consideraciones mencionadas indicarían que una combinación de práctica s/métodos de entrenamiento diferentes probablemente sea el método más eficaz, queda por determinar cómo mejorar también las variables manipulables del RST con eficiente periodización de sesiones de acondicionamiento en una agenda ocupada de jugadores para alcanzar las deseadas adaptaciones del entrenamiento.

## Perspectivas

Futuros estudios de RST con un espectro más amplio de proporciones de E:R e incluso muestras de biopsias musculares son necesarios para determinar cuál es el intercambio óptimo entre el mantenimiento de la velocidad a lo largo de las series de sprint (es decir, el nivel de fatiga oportuno) y las grandes perturbaciones metabólicas y/o ácido-bases intramusculares durante el ejercicio (es decir, un estímulo del entrenamiento significativo). Si un método diferente es necesario y una reducción sensible del volumen del ejercicio es esperable (es decir, períodos congestionados o de puesta punto), el entrenamiento con sprints en 'shuttle', permite alcanzar un nivel de fatiga similar a los obtenidos en el sprint recto, podría considerarse como una valiosa alternativa pero requerirá de un control cuidadoso de la carga neuromuscular [26, 40]. Aún más crucial para el rendimiento físico del partido es la capacidad de los jugadores para acelerar mientras cambian de dirección y orientación [41] y, por consiguiente, la necesidad de diseñar métodos de entrenamiento eficaces (es decir, driles individuales o juegos reducidos con el uso de una proporción de E:R apropiada [42]) específicamente orientada a mejorar estas capacidades de sprint repetido.

## REFERENCIAS

1. Buchheit M, Laursen PB. (2013). High-intensity interval training, solutions to the programming puzzle: Part I: cardiopulmonary emphasis. *Sports Med.* 2013;43(5):313-38.
2. Bishop D, Girard O, Mendez-Villanueva A. (2011). Repeated-sprint ability—part II: recommendations for training. *Sports Med.* 2011;41(9):741-56.
3. Taylor J, Macpherson T, Spears I, Weston M. (2015). The effects of repeated-sprint training on field-based fitness measures: a meta-analysis of controlled and non-controlled trials. *Sports Med.* 2015;45(6):881-91.
4. de Salles BF, Simao R, Miranda F, Novaes Jda S, Lemos A, Willardson JM. (2009). Rest interval between sets in strength training. *Sports Med.* 2009;39(9):765-77.
5. Iaia FM, Fiorenza M, Perri E, Alberti G, Millet GP, Bangsbo J. (2015). The Effect of Two Speed Endurance Training Regimes on Performance of Soccer Players. *PLoS ONE.* 2015;10(9):e0138096.
6. Hill-Haas S, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Edge J. (2007). Effects of rest interval during high-repetition resistance training on strength, aerobic fitness, and repeated-sprint ability. *J Sports Sci.* 2007;25(6):619-28.
7. Edge J, Eynon N, McKenna MJ, Goodman CA, Harris RC, Bishop DJ. (2013). Altering the rest interval during high-intensity interval training does not affect muscle or performance adaptations. *Exp Physiol.* 2013;98(2):481-90.
8. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Delhomel G, Brughelli M, Ahmaidi S. (2010). Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *J Strength Cond Res.* 2010;24(10):2715-22.
9. Fernandez-Fernandez J, Zimek R, Wiewelhove T, Ferrauti A. (2012). High-intensity interval training vs. repeated-sprint training in tennis. *J Strength Cond Res.* 2012;26(1):53-62.
10. Ferrari Bravo D, Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Bishop D, Wisloff U. (2008). Sprint vs. interval training in football. *Int J Sports Med.* 2008;29(8):668-74.
11. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Quod M, Quesnel T, Ahmaidi S. (2010). Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players: speed versus sprint interval training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2010;5(2):152-64.
12. Saraslanidis P, Petridou A, Bogdanis GC, Galanis N, Tsalis G, Kellis S, et al. (2011). Muscle metabolism and performance improvement after two training programmes of sprint running differing in rest interval duration. *J Sports Sci.* 2011;29(11):1167-74.

13. Impellizzeri FM, Rampinini E, Marcora SM. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *J Sports Sci.* 2005;23(6):583-92.
14. Bangsbo J, Iaia FM, Krstrup P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med.* 2008;38(1):37-51.
15. Balsom PD, Gaitanos GC, Söderlund K, Ekblom B. (1999). High-intensity exercise and muscle glycogen availability in humans. *Acta Physiol Scand.* 1999;165(4):337-45.
16. Dupont G, Millet GP, Guinhouya C, Berthoin S. (2005). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *Eur J Appl Physiol.* 2005;95(1):27-34.
17. Glaister M, Howatson G, Pattison JR, McInnes G. (2008). The reliability and validity of fatigue measures during multiple-sprint work: an issue revisited. *J Strength Cond Res.* 2008;22(5):1597-601.
18. Thomassen M, Christensen PM, Gunnarsson TP, Nybo L, Bangsbo J. (2010). Effect of 2-wk intensified training and inactivity on muscle Na<sup>+</sup>-K<sup>+</sup> pump expression, phospholemman (FXD1) phosphorylation, and performance in soccer players. *J Appl Physiol.* 2010;108(4):898-905.
19. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3-13.
20. Cohen J. (1988). Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2nd ed. Hillsdale, N.J.: L. Erlbaum Associates; 1988. xxi, 567 p. p.
21. Ross A, Leveritt M, Riek S. (2001). Neural influences on sprint running: training adaptations and acute responses. *Sports Med.* 2001;31(6):409-25.
22. Gastin PB. (2001). Energy system interaction and relative contribution during maximal exercise. *Sports Med.* 2001;31(10):725-41.
23. Mohr M, Thomassen M, Girard O, Racinais S, Nybo L. (2016). Muscle variables of importance for physiological performance in competitive football. *Eur J Appl Physiol.* 2016;116(2):251-62.
24. Mohr M, Krstrup P, Nielsen JJ, Nybo L, Rasmussen MK, Juel C, et al. (2007). Effect of two different intense training regimens on skeletal muscle ion transport proteins and fatigue development. *Am J Physiol Regul Integr Comp Physiol.* 2007;292(4):R1594-602.
25. Serpiello FR, McKenna MJ, Stepto NK, Bishop DJ, Aughey RJ. (2011). Performance and physiological responses to repeated-sprint exercise: a novel multiple-set approach. *Eur J Appl Physiol.* 2011;111(4):669-78.
26. Gatterer H, Philippe M, Menz V, Mosbach F, Faulhaber M, Burtcher M. (2014). Shuttle-run sprint training in hypoxia for youth elite soccer players: a pilot study. *J Sports Sci Med.* 2014;13(4):731-5.
27. Galvin HM, Cooke K, Sumners DP, Mileva KN, Bowtell JL. (2013). Repeated sprint training in normobaric hypoxia. *Br J Sports Med.* 2013;47 Suppl 1:i74-9.
28. Brocherie F, Millet GP, Hauser A, Steiner T, Wehrin JP, Rysman J, et al. (2015). Association of Hematological Variables with Team-Sport Specific Fitness Performance. *PLoS ONE.* 2015;10(12):e0144446.
29. Oliveira RS, Leicht AS, Bishop D, Barbero-Alvarez JC, Nakamura FY. (2013). Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players. *Int J Sports Med.* 2013;34(5):424-30.
30. Al Haddad H, Simpson BM, Buchheit M, Di Salvo V, Mendez-Villanueva A. (2015). Peak match speed and maximal sprinting speed in young soccer players: effect of age and playing position. *Int J Sports Physiol Perform.* 2015;10(7):888-96.
31. Suarez-Arrones L, Tous-Fajardo J, Nunez J, Gonzalo-Skok O, Galvez J, Mendez-Villanueva A. (2014). Concurrent repeated-sprint and resistance training with superimposed vibrations in rugby players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9(4):667-73.
32. Buchheit M, Millet GP, Parisy A, Pourchez S, Laursen PB, Ahmaidi S. (2008). Supramaximal training and postexercise parasympathetic reactivation in adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(2):362-71.
33. Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K. (1998). Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1998;78(2):163-9.
34. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C. (2005). Physiological and metabolic responses of repeated-sprint activities: specific to field-based team sports. *Sports Med.* 2005;35(12):1025-44.
35. Gaitanos GC, Williams C, Boobis LH, Brooks S. (1993). Human muscle metabolism during intermittent maximal exercise. *J Appl Physiol.* 1993;75(2):712-9.
36. McGawley K, Bishop DJ. (2015). Oxygen uptake during repeated-sprint exercise. *J Sci Med Sport.* 2015;18(2):214-8.
37. Brooks GA, Mercier J. (1985). Balance of carbohydrate and lipid utilization during exercise: the "crossover" concept. *J Appl Physiol* 1994;76(6):2253-61.
38. Buchheit M. (2012). Should we be recommending repeated sprints to improve repeated-sprint performance? *Sports Med.* 2012;42(2):169-72; author reply 72-73.
39. Brocherie F, Girard O, Faiss R, Millet GP. (2015). High-intensity intermittent training in hypoxia: a double-blinded, placebo-controlled field study in youth football players. *J Strength Cond Res.* 2015;29(1):226-37.
40. Hader K, Mendez-Villanueva A, Ahmaidi S, Williams BK, Buchheit M. (2014). Changes of direction during high-intensity intermittent runs: neuromuscular and metabolic responses. *BMC Sports Sci Med Rehabil.* 2014;6(1):2.
41. Brughelli M, Cronin J, Levin G, Chaouachi A. (2008). Understanding change of direction ability in sport: a review of resistance training studies. *Sports Med.* 2008;38(12):1045-63.
42. Hill-Haas SV, Dawson B, Impellizzeri FM, Coutts AJ. (2011). Physiology of small-sided games training in football: a systematic review. *Sports Med.* 2011;41(3):199-220.

## Cita Original

Iaia FM, Fiorenza M, Larghi L, Alberti G, Millet GP, Girard O (2017) Short- or long-rest intervals during repeated-sprint training in soccer? *PLoS ONE* 12(2): e0171462. doi:10.1371/journal.pone.0171462