

Article

La Capacidad de Repetir Sprint en Jugadores de Fútbol Profesional y Amateurs

Ermanno Rampinini, Aldo Sassi, Andrea Morelli, Stefano Mazzoni, maurizio fanchini y Aaron J Coutts

RESUMEN

En este estudio se analizaron la capacidad de repetir sprints (RSA), las respuestas fisiológicas durante un test estandarizado de alta intensidad de carrera intermitente (HIT), el consumo máximo de oxígeno ($\text{VO}_2 \text{ max}$), y la cinética del consumo de oxígeno en jugadores de fútbol profesional ($N=12$) y amateurs ($N=11$). Se determinó la relación entre cada uno de esos factores y el rendimiento en la RSA. El tiempo medio de la RSA ($\text{RSA}_{\text{media}}$) y la disminución de la RSA estuvo relacionada a las respuestas fisiológicas promovidas por el HIT (concentración de lactato sanguíneo (La^-), $r=0.66$ y 0.77 , concentración de bicarbonato (HCO_3^-), $r=-0.71$ y -0.75 ; y concentración de protones en sangre (H^+), $r = 0.61$ y 0.73 ; todos $p<0.05$), $\text{VO}_2 \text{ max}$ ($r = -0.45$ y -0.65 , $p < 0.05$), y la constante de tiempo (τ) en la cinética de VO_2 ($r = 0.62$ y 0.62 , $p < 0.05$). El $\text{VO}_2 \text{ máx.}$ no fue diferente entre jugadores de distinta categoría (58.5 ± 4.0 vs. 56.3 ± 4.5 ml/kg/min; $p = 0.227$). Sin embargo, los jugadores de fútbol profesional mostraron mejor $\text{RSA}_{\text{media}}$ (7.17 ± 0.09 vs. 7.41 ± 0.19 s; $p = 0.001$), menor $[\text{La}^-]$ (5.7 ± 1.5 vs. 8.2 ± 2.2 mmol/L; $p = 0.004$), menor $[\text{H}^+]$ (46.5 ± 5.3 vs. 52.2 ± 3.4 mmol/L; $p = 0.007$), y mas alta $[\text{HCO}_3^-]$ (20.1 ± 2.1 vs. 17.7 ± 1.7 mmol/L; $p = 0.006$) luego del HIT, y un mas corto τ en la cinética de VO_2 (27.2 ± 3.5 vs. 32.3 ± 6.0 s; $p = 0.019$). Esos resultados muestran que el rendimiento en la RSA, las respuestas fisiológicas al HIT y el valor τ , difieren entre jugadores de fútbol profesional y amateur. Nuestros resultados también muestran que el rendimiento en la RSA se encuentra relacionado al $\text{VO}_2 \text{ máx.}$, τ , y las respuestas fisiológicas al ejercicio estandarizado intermitente de alta intensidad.

Palabras Clave: Alta intensidad, sprint, rendimiento, ejercicio intermitente, fútbol

INTRODUCCIÓN

El fútbol es un deporte que requiere de actividades prolongadas, intermitentes y de alta intensidad (Bangsbo et al. 1991; Mohr et al. 2003). Durante el juego, los jugadores cambian de actividad cada 5 segundos en promedio y realizan aproximadamente 1300 acciones, 200 de las cuales son realizadas a alta intensidad (Bangsbo et al. 2006). Además, los periodos decisivos del juego requieren que los jugadores realicen gestos a alta intensidad (Bangsbo et al. 2006). Por lo tanto, la habilidad para realizar series de esfuerzo de alta intensidad durante el juego es de gran importancia para mejorar el rendimiento (Bangsbo 1994).

Las actividades de sprint se repiten con frecuencia durante el juego. Rampinini et al. (2007) han demostrado que la capacidad de repetir sprint (RSA) de jugadores de fútbol de alto nivel se relaciona con medidas importantes del

rendimiento físico tales como la distancia recorrida durante las carreras de muy alta intensidad. Hoy en día, es aparente que los jugadores de fútbol de mas alto nivel de competición son mayormente capaces de realizar esfuerzos de alta intensidad de carácter intermitente (Bangsbo et al. 2008; Mohr et al. 2003) o series de sprint repetido (Impellizzeri et al. 2008). Por lo tanto, es importante establecer las características fisiológicas asociadas a la RSA y al esfuerzo intermitente de alta intensidad ya que esto podría ser útil como guía para el desarrollo de intervenciones específicas de entrenamiento para los jugadores de fútbol de alto nivel.

Se ha observado que el rendimiento en la RSA se encuentra influenciado por diversos factores, tales como el máximo consumo de oxígeno ($\text{VO}_2 \text{ max}$) (Aziz et al. 2000; Bishop et al. 2003; Bishop y Spencer 2004; Hamilton et al. 1991; Tomlin y Wenger 2001), cinética del consumo de oxígeno (VO_2) (Dupont et al. 2005), capacidad de tamponar/bufferizar los iones hidrogeno (H^+) (Bishop y Edge 2006; Bishop y Spencer 2004), y la concentración de glucógeno muscular (Balsom et al. 1999). Muchos otros factores que facilitan la producción de energía aeróbica durante los esfuerzos de sprint repetidos también son importantes para mejorar el rendimiento en la RSA. Por ejemplo, la concentración de enzimas aeróbicas, tamaño y número de mitocondrias (Holloszy and Coyle 1984) y la densidad capilar (Andersen y Henriksson 1977), podrían ser todos importantes durante la realización de esfuerzos repetidos intermitentes de alta intensidad. Además, se ha reportado que el rendimiento del primer sprint se encuentra negativamente relacionado a la disminución del rendimiento durante el test de la RSA (Bishop y Edge 2006; Bishop et al. 2003; Hamilton et al. 1991; Wadley y Le Rossignol 1998). Como consecuencia, parece ser importante el control de esas variables para permitir una evaluación de los determinantes fisiológicos de la RSA en jugadores de fútbol. Sin embargo, aunque ha habido un reciente interés en los factores asociados al mejoramiento de la RSA y al esfuerzo intermitente de alta intensidad en atletas que practican deportes de equipo, en la actualidad esos factores no son completamente comprendidos.

Algunos autores han sugerido que los jugadores de fútbol manifiestan adaptaciones específicas a las carreras intermitentes de alta intensidad (Drust et al. 2000; Krstrup et al. 2003), lo que es frecuente en el entrenamiento de fútbol. Es importante entonces evaluar las respuestas fisiológicas a este tipo específico de esfuerzo para determinar si esos factores pueden discriminar entre jugadores de diferente nivel competitivo (Bangsbo et al. 2008). Sin embargo, a la fecha, no se ha investigado si la capacidad para efectuar carreras intermitentes de alta intensidad es un factor discriminante entre jugadores de fútbol de diferente nivel de competición. Además, no hay estudios que hayan investigado si esta capacidad se relaciona con el rendimiento en la RSA.

Por lo tanto, el propósito de este estudio fue (i) examinar las diferencias en la RSA entre jugadores de fútbol profesional y amateur; (ii) examinar las diferencias en los factores fisiológicos que podrían ser importantes para la RSA; (iii) verificar la relación entre esos factores y la RSA; y (iv) examinar esas relaciones a través del control del efecto del primer sprint sobre el rendimiento de la RSA. Se conjeturó que los jugadores de fútbol profesional podrían tener alta la RSA y mejores respuestas fisiológicas a las series de carrera intermitente de alta intensidad (menor concentración de lactato ($[\text{La}^-]$) y acumulación de H^+ y mayor concentración de bicarbonato sanguíneo ($[\text{HCO}_3^-]$). También se conjeturó que una mayor RSA podría estar asociado con niveles mas elevados de $\text{VO}_2 \text{ máx.}$ y una cinética de VO_2 mas rápida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Sujetos y Diseño experimental

La muestra del estudio estuvo constituida por Jugadores de Fútbol de la tercera división profesional (N=12, 3 defensores centrales, 4 mediocampistas, 3 defensores laterales, y 2 delanteros; 25 ± 4 años, masa corporal 73.9 ± 4.5 kg, talla 180 ± 3 cm) y jugadores de la sexta división de fútbol amateur (N= 11, 3 defensores centrales, 3 mediocampistas, 3 defensores laterales, y 2 delanteros; 26 ± 6 años, masa corporal 70.6 ± 7.5 kg, talla 177 ± 5 cm). Los jugadores profesionales entrenaban usualmente 6 veces a la semana mientras que los jugadores amateur entrenaban usualmente 3 veces a la semana, pero ambos grupos continuaron participando de los partidos oficiales.

Los jugadores completaron 4 test diferentes (test de $\text{VO}_2 \text{ máx.}$; test de la RSA; test de carrera intermitente de alta intensidad (HIT); y medición de la cinética del VO_2) durante 3 visitas, cada una de ellas a la misma hora del día durante el periodo competitivo. Todos los test estuvieron separados por al menos 48 horas y se completaron dentro de las 2 semanas. El primer test fue un test incremental sobre una cinta para determinar el $\text{VO}_2 \text{ máx.}$, velocidad pico, y máxima frecuencia cardiaca (FCmax). El segundo test fue un test de la RSA realizado sobre un campo de césped al exterior (Rampinini et al. 2007), y el tercero fue un HIT realizado sobre una cinta. Antes de los test de la RSA y el HIT, los jugadores realizaron un trote de 10 minutos sobre la cinta al 60% de la velocidad pico alcanzada durante el test incremental para la determinación de la cinética del VO_2 . Los sujetos fueron instruidos para consumir su ultima comida al menos 3 hs antes de cada test, evitar la ingesta de café o bebidas que contengan cafeína por 8 horas, y evitar la realización de ejercicio intenso por 24

horas. El estudio fue aprobado por un comité de ética institucional independiente de acuerdo a las guías y recomendaciones para los comité de ética europeos por el Foro Europeo para la adecuada practica clínica y para los clubes de fútbol involucrados.

Protocolo del test incremental en cinta

Luego de 10 minutos de entrada en calor que consistió en trote de baja intensidad, se determino el VO_2 max utilizando un test incremental en cinta (Saturn 4.0, h/p/Cosmos Sports and Medical GmbH, Nussdorf-Traunstein, Germany) a una inclinación del 4%. El test comenzó a los 10 km/h, y la velocidad se incremento en 1 km/h cada un minuto. El alcance del VO_2 máx. se considero cuando al menos 2 de los siguientes criterios fue alcanzado (Howley et al. 1995): (i) una meseta en el VO_2 a pesar del incremento en la velocidad (<80 mL/kg/min); (ii) un cociente respiratorio por encima de 1.10; y (iii) una frecuencia cardiaca (FC) ± 10 latidos/min de la predicha por la edad (220-edad). Los gases exhalados se analizaron utilizando un sistema de análisis automatizado respiración a respiración (VMAX29, Sensormedics, Yorba Linda, Calif.). El flujo, el volumen y los gases fueron calibrados de acuerdo a las recomendaciones del manufacturero antes y después de cada test. La FC fue registrada cada 5 segundos (Vantage NV, Polar Electro, Kempele, Finland).

Protocolo del test de Sprint y la RSA

Inmediatamente después de 10 minutos de entrada en calor, cada jugador realizo un test de sprint de 40 metros (20 m de ida + 20 m de vuelta) medido por medio de un sistema de fotocélulas (Microgate, Bolzano, Italy). Este sprint fue usado como criterio de escore durante el test de sprint de la RSA de 6 x 40 m (Rampinini et al. 2007). Los sujetos fueron re-testeados 5 minutos antes del comienzo del test de la RSA. El test de la RSA consistió en 6 x 40 m (20 m de ida + 20 m de vuelta) de sprint separados por 20 segundos de recuperación pasiva. Este test fue diseñado para medir tanto la capacidad de sprint repetido como la capacidad de cambio de dirección. Los sujetos comenzaron desde una línea, realizaron un sprint de 20 m, tocaron un cono con la mano, y regresaron a la línea de partida tan pronto como fuera posible. Después de 20 s de recuperación pasiva, cada jugador comenzó nuevamente. Cinco segundos antes del comienzo de cada sprint, los sujetos se ubicaban en la posición de partida y esperaban por la señal de partida. Si el rendimiento durante el primer sprint del test de la RSA fuera mas lento que el criterio de score (o sea, un incremento en el tiempo $>2.5\%$), el test se daba por finalizado y se les pedía a los sujetos repetir el test de RSA con el máximo esfuerzo luego de un periodo de recuperación de 5 minutos. El tiempo mas corto en el sprint único (RSamejor), el tiempo medio (RSamedia), y el porcentaje de disminución (RSAdism) durante el test de la RSA se determinaron de acuerdo a Rampinini et al. (2007). Los test de RSA y Sprint se realizaron sobre una superficie de césped al exterior durante días sin viento, y con una temperatura dentro de los 19°C a 24°C .

Protocolo del test intermitente de alta intensidad

Durante la entrada en calor de 10 minutos, los jugadores completaron series de 10 segundos a 14, 16 y 18 km/h con 20 segundos de recuperación caminando (a 5 km/h) entre cada serie. Después de la entrada en calor, los jugadores realizaron un test intermitente de alta intensidad (HIT) que consistió en 10 x 10 s de carrera a 18 km/h con 20 s de recuperación caminando a 5 km/h entre cada serie. Las aceleraciones y la desaceleraciones de la cinta fueron muy rápidas (alrededor de 3.7 m/s²). El tiempo necesario para cambiar la velocidad de la cinta durante cada estadio del test fue alrededor de 1 s. La cinta recibió una inclinación del 8% durante el transcurso del test. La FC fue registrada cada 5 s durante el test (Vantage NV). Inmediatamente después del test, se recolectaron 100 μL de sangre capilar en tubos heparinizados y se analizaron para la concentración de iones hidrogeno ($[\text{H}^+]$) y bicarbonato ($[\text{HCO}_3^-]$) por medio de un analizador calibrado (GEM Premier 3000, Instrumentation Laboratory, Milan, Italy) con un sistema de cartuchos de manejo de calidad inteligente. Las muestras de sangre capilar (5 μL) también fueron analizadas para la concentración de lactato ($[\text{La}^-]$) utilizando un analizador de lactato microvolumetrico portátil amperométrico (LactatePro, Arkray, Kyoto, Japan). La sensación subjetiva de esfuerzo relativa al HIT fue registrada utilizando la escala CR10 de Borg (Borg 1998) inmediatamente luego de la finalización del test. Todos los jugadores estaban habituados a esta escala antes del comienzo del estudio y siguieron además instrucciones estandarizadas para el uso de la escala (Borg 1998).

Cinética del VO_2

La cinética del VO_2 se calculo a partir de 2 carreras de 10 minutos al 60% de la velocidad pico alcanzada durante el test incremental (Dupont et al. 2005). Los datos del VO_2 determinados respiración a respiración se midieron usando un sistema de calibración de gases (VMAX29, Sensormedics).

Los datos en bruto de VO_2 fueron interpolados linealmente para producir valores de VO_2 para cada segundo del test. Los datos de las dos series fueron normalizados por el tiempo y promediados para cada sujeto. Para determinar la constante de tiempo (τ), los datos de los primeros 20 s desde el comienzo del ejercicio fueron excluidos del análisis para eliminar la fase cardio dinámica, mientras que los datos remanentes fueron tratados por medio de una función mono exponencial:

$$VO_2(t) = VO_2(b) + A(1 - e^{-(t-\theta)/\tau})$$

Donde t es el tiempo, $VO_2(b)$ es el VO_2 de base, A es la amplitud del VO_2 por encima del valor de base, θ es el tiempo de retraso, y τ es la constante de tiempo.

Análisis Estadístico

La verificación de los supuestos para cada procedimiento estadístico fue realizada previo al análisis. El test t no apareado se usó para efectuar la comparación entre jugadores de fútbol profesional y amateur para $VO_{2\text{máx.}}$, rendimiento en el test de la RSA (RSAmejor, RSAmedia, y RSAdism), respuestas fisiológicas durante el HIT, y la cinética de VO_2 . El tamaño del efecto (d) también fue determinado (como valor medio de la serie 2 - valor medio de la serie 1) / desviación estándar combinada (SD), y fue clasificada como pequeña, moderada y grande para valores de 0.2, 0.5 y 0.8, respectivamente. La relación entre $VO_{2\text{máx.}}$, respuestas fisiológicas durante HIT, cinética de VO_2 y rendimiento en el test de la RSA fueron calculadas usando el coeficiente de correlación de Pearson (r). Para controlar la influencia del rendimiento del sprint inicial sobre la RSAdism, la correlación entre las variables fisiológicas y la RSAdism también se re-examinaron usando una correlación semiparcial ajustada por la influencia del rendimiento del sprint inicial. Se calcularon los Intervalos de confianza (90%) para las correlaciones. La magnitud de las correlaciones también fue determinada usando una escala modificada por Hopkins (www.sportsci.org/resource/stats/ 2002): $r < 0.1$, insignificante; 0.1-0.3, pequeño; 0.3-0.5, moderado; 0.5-0.7, grande; 0.7-0.9, muy grande; > 0.9 casi perfecto; y 1, perfecto. La significancia estadística fue considerada a un valor de $p < 0.05$. En la comparación múltiple entre jugadores profesionales y amateurs, se utilizó el test de Bonferroni para el control del error de tipo I. El criterio resultante para el nivel de alfa, fue de $p < 0.017$. Todos los datos se encuentran presentados como medias \pm SD.

Resultados

Las diferencias y el tamaño del efecto en las medidas fisiológicas y de rendimiento entre los jugadores de fútbol profesional y amateur se presentan en la Tabla 1. La RSAmedia fue menor (7.17 ± 0.09 vs. 7.41 ± 0.19 , -3.2%) para los jugadores profesionales que para los amateurs ($p = 0.001$) y el tamaño del efecto fue mayor. Las diferencias en el RSAmejor y la RSAdism entre los dos grupos de jugadores se acercó a la significancia ($p = 0.075$ y $p = 0.064$, respectivamente) con moderado tamaño del efecto. Con la excepción de la FC media (%FCmax) registrada durante el HIT, todas las respuestas fisiológicas ($[H^+]$, $[HCO_3^-]$, y $[La^-]$) medidas al final del HIT y la escala de esfuerzo percibido (RPE) del test intermitente fueron significativamente diferentes entre los jugadores de fútbol profesional y amateur (todos $p < 0.008$; todos los tamaños de efecto fueron grandes). Para jugadores profesionales, $[H^+]$ y $[La^-]$ fueron 10.9% y 30.5% más baja, mientras $[HCO_3^-]$ fue 13.6% más alta y el RPE fue 31.3% menor. El $VO_{2\text{máx.}}$ y la amplitud calculada en los 2 test submáximos al 60% de la velocidad pico no fueron significativamente diferentes entre los dos grupos de jugadores (todos valores de $p > 0.226$), mientras que el tamaño del efecto fue moderado para el $VO_{2\text{máx.}}$ e insignificante para la amplitud. La diferencia en la constante tiempo entre ambos grupos estuvo muy cerca de la significancia ($p = 0.019$) y el tamaño del efecto fue grande.

	Profesionales (N=12)	Amateurs (N=11)	Valor de p	Valor de d
RSA				
RSAMEJOR (s)	6.86 \pm 0.13	6.97 \pm 0.15	0.075	0.74 (moderado)
RSAMEDIA (s)	7.17 \pm 0.09	7.41 \pm 0.19	0.001	1.30 (grande)
RSADISM (%)	4.5 \pm 1.9	6.0 \pm 1.9	0.064	0.77 (moderado)
HIT				
HIT $[H^+]$ (mmol/L)	46.5 \pm 5.3	52.2 \pm 3.4	0.007	1.06 (grande)
HIT $[HCO_3^-]$ (mmol/L)	20.1 \pm 2.1	17.7 \pm 1.7	0.006	1.09 (grande)
HIT $[La^-]$ (mmol/L)	5.7 \pm 1.5	8.2 \pm 2.2	0.004	1.13 (grande)
HIT _{FCmedia} (% max)	87.4 \pm 3.8	87.6 \pm 4.5	0.887	0.06 (insignificante)
HIT _{RPE} (CR10)	4.4 \pm 0.7	6.4 \pm 1.0	<0.001	1.48 (grande)
Determinaciones Cardiorrespiratorias				
VO ₂ max (ml/kg/min)	58.5 \pm 4.0	56.3 \pm 4.5	0.227	0.51 (moderado)
Amplitud (ml/min)	2519 \pm 211	2511 \pm 329	0.949	0.03 (insignificante)
τ (s)	27.2 \pm 3.5	32.3 \pm 6.0	0.019	0.95 (grande)

Tabla 1. Diferencias entre jugadores de fútbol profesionales y amateurs en determinaciones de rendimiento a partir del test de la RSA, las respuestas fisiológicas durante el test intermitente de alta intensidad y las determinaciones cardiorrespiratorias.

Nota: d, tamaño del efecto; RSA, capacidad de repetir sprint; dism, disminución; HIT, test intermitente de alta intensidad; [H⁺], concentración de protones en sangre; [HCO₃⁻], concentración de bicarbonato en sangre; [La⁻], concentración de lactato en sangre; FCmedia, frecuencia cardiaca media; RPE, escala de esfuerzo percibido; VO₂max, consumo máximo de oxígeno; τ, constante de tiempo.

Las correlaciones entre el rendimiento durante el test de la RSA y las respuestas fisiológicas durante el HIT, VO₂máx., y τ son presentadas en la Tabla 2. Ninguna de las variables medidas fueron estadísticamente significativas en relación al tiempo del mejor RSA y la correlación oscilo desde insignificante a pequeña (r entre 0.01 y 0.14). La RSAmédia estuvo significativamente relacionada a las respuestas fisiológicas durante el HIT (r = 0.61 con [H⁺], r = -0.71 con [HCO₃⁻], y r = 0.66 con [La⁻], todos valores de p < 0.05). La RSAmédia estuvo también relacionada significativamente al VO₂ máx. y a τ (r = -0.45 y r = 0.62, respectivamente). La Tabla 2 muestra que las correlaciones con RSAmédia fueron muy grandes para [HCO₃⁻] (grande a muy grande), grande para [La⁻], [H⁺], y τ (moderado a muy grande), y moderado para VO₂máx. (pequeño a muy grande). La RSAdism estuvo relacionada a las respuestas fisiológicas durante el HIT (r = 0.73 con [H⁺], r = -0.75 con [HCO₃⁻], y r = 0.77 con [La⁻], todos valores de p < 0.05), al VO₂ máx. (r = -0.65, p < 0.05), y a τ (r = 0.62, p < 0.05) (Tabla 2). Las correlaciones con la RSAdism fueron muy grandes para las respuestas fisiológicas ([H⁺], [HCO₃⁻], y [La⁻]) durante HIT (grande a casi perfecta) y grande para VO₂máx. y τ (moderada a muy grande).

	HIT _[H⁺] (mmol/L)	HIT _[HCO₃⁻] (mmol/L)	HIT _[La⁻] (mmol/L)	VO ₂ max (ml/kg/min)	τ (s)
Coefficientes de Correlación					
RSAméjor (s)	0.01 (-0.34 a 0.36)	0.12 (-0.24 a 0.45)	0.03 (-0.33 a 0.38)	0.09 (-0.27 a 0.43)	0.14 (-0.22 a 0.47)
RSAmédia (s)	0.61* (0.33 a 0.79)	-0.71* (0.48 a 0.85)	0.66* (0.40 a 0.82)	-0.45* (-0.12 a -0.69)	0.62* (0.34 a 0.80)
RSAdism (%)	0.73* (0.51 a 0.86)	-0.75* (-0.54 a -0.87)	0.77* (0.57 a 0.88)	-0.65* (-0.39 a -0.82)	0.62* (0.34 a 0.80)
Correlaciones Semiparciales					
RSAdism (%)	0.77* (0.57 a 0.88)	-0.83* (-0.68 a -0.91)	0.81* (0.64 a 0.90)	-0.66* (-0.40 a -0.82)	0.70* (0.46 a 0.84)

Tabla 2. Coeficientes de correlación entre los scores del test de la RSA (RSAméjor, RSAmédia y RSAdism) y respuestas fisiológicas al test intermitente de alta intensidad y determinaciones cardiorrespiratorias (N=23)

Nota: Correlaciones semiparciales utilizando el tiempo del mejor sprint en el test de la RSA como una variable de control entre la disminución del porcentaje de la capacidad de repetir sprint y las respuestas fisiológicas durante el test de la RSA y las determinaciones cardiorrespiratorias (N=23). HIT, test intermitente de alta intensidad; [H⁺], concentración de protones en sangre; [HCO₃⁻], concentración de bicarbonato en sangre; [La⁻], concentración de lactato en sangre; FCmedia, frecuencia cardiaca media; RPE, escala de esfuerzo percibido; VO₂max, consumo máximo de oxígeno; τ, constante de tiempo; RSA, capacidad de repetir sprint; dism, disminución. *p<0,05.

Las correlaciones semiparciales (controlado para los efectos de RSAméjor sobre RSAdism), entre RSAdism y las respuestas fisiológicas durante el HIT, VO₂máx., y τ se muestran en la Tabla 1. La correlación fue muy grande para [H⁺] (r = 0.77, p < 0.05), [HCO₃⁻] (r = -0.83, p < 0.05), y [La⁻] (r = 0.81, p < 0.05) medidas después del HIT (grande a casi perfecta), muy grande (r = 0.70, p < 0.05) para τ (grande a muy grande), y fue grande (r = -0.66, p < 0.05) para VO₂ máx. (moderado a muy grande). No se hallaron correlaciones entre el % FCmax durante el HIT, la amplitud de VO₂ por encima de los valores de base, y los índices de rendimiento en el test de la RSA (r < 0.36, p > 0.05).

Discusión

En concordancia con nuestra hipótesis inicial, los hallazgos de este estudio muestran que la RSAmédia y las respuestas fisiológicas al ejercicio intermitente de alta intensidad estandarizado permiten discriminar entre los jugadores de fútbol profesional y amateur con similares valores de VO₂ máx. Los jugadores profesionales tendieron también a manifestar menor tiempo en RSAméjor y menores RSAdism que los jugadores amateur (p = 0.075 y p = 0.064 para RSAméjor y

RSAdism, respectivamente). Nuestros resultados muestran que el rendimiento en RSA (RSAmédia y RSAdism) se relaciona al VO_2 máx., τ , y las respuestas fisiológicas seleccionadas al ejercicio intermitente, estandarizado de alta intensidad. Conjuntamente, esos resultados sugieren un buen RSA, más rápida cinética de VO_2 , y la capacidad de amortiguar los $[H^+]$ durante la actividad intermitente de alta intensidad son características importantes para los jugadores de fútbol.

Los presentes resultados muestran que a pesar de tener similar VO_2 máx., los jugadores profesionales manifiestan menores respuestas fisiológicas y perceptivas al HIT estandarizado que los jugadores amateur. En efecto, los jugadores profesionales tuvieron frente al HIT menor $[La^-]$, menor $[H^+]$, y mayor $[HCO_3^-]$, sugiriendo una menor contribución anaeróbica y/o mejor capacidad buffer. Aunque es bien conocido que el pH muscular no es la única causa de la fatiga durante el ejercicio corto de alta intensidad (Bangsbo et al. 2007; Westerblad et al. 2002), un pH muscular bajo ha mostrado reducir la contractilidad muscular (Metzger and Moss 1990) e inhibir la actividad glucolítica (Hollidge-Horvat et al. 1999; Spriet 1991). Esos factores proveen alguna explicación de la reducida capacidad de sostener el HIT y el rendimiento durante la RSA en jugadores de menor nivel, y esto podría ser debido a una menor dosis de entrenamiento realizada por este grupo o a una menor aptitud física.

La menor RPE reportada por los jugadores de fútbol profesional durante el HIT confirma los datos fisiológicos que manifestaron un menor estrés interno. En contraste, no hubo diferencias en el % FCmax registrada durante HIT entre jugadores profesionales y amateurs. La menor $[La^-]$ y menor RPE, pero similar respuesta de la FC al HIT en los jugadores profesionales sugiere que esos jugadores poseen una menor contribución anaeróbica al ejercicio intermitente de alta intensidad. Sin embargo, se debería ser cauteloso cuando se interpretan esos resultados debido a que las mediciones fisiológicas fueron realizadas en sangre y no a nivel muscular. Futuros estudios invasivos son necesarios para confirmar esos hallazgos preliminares. Esos resultados también resaltan que la FC puede ser un marcador pobre de la intensidad del ejercicio durante los esfuerzos intermitentes de muy alta intensidad que tengan una contribución anaeróbica considerable.

Un hallazgo nuevo a partir de este estudio es que los jugadores profesionales manifestaron un τ más corto que los amateur a pesar de sus similares valores de VO_2 máx. Los valores comparables de VO_2 máx. entre ambos grupos en este estudio contrasta con los datos de investigaciones previas que muestran niveles más elevados de VO_2 máx. en los jugadores profesionales (Stølen et al. 2005). Sin embargo, otros han sugerido, en concordancia con el presente estudio, que el VO_2 máx. podría no ser el indicador más conveniente del rendimiento aeróbico en jugadores de fútbol, debido a que ellos entrenan de modo intermitente más que de modo continuo (Bangsbo et al. 2006, 2008; Drust et al. 2000; Krstrup et al. 2003). Los resultados presentes también muestran que la RSA tiene una más fuerte asociación con la cinética de VO_2 y la capacidad de tolerar la acidosis metabólica que con el VO_2 máx. Esos resultados sugieren que los entrenadores deberían considerar que los programas de entrenamiento se concentren en el desarrollo de la cinética del VO_2 y la capacidad de bufferizar $[H^+]$ cuando el objetivo es el de mejorar la RSA en jugadores de fútbol aeróbicamente bien entrenados. Como consecuencia, el entrenamiento intervalado de alta intensidad podría ser recomendado para jugadores de fútbol con el objetivo de mejorar el rendimiento durante el juego (Bailey et al. 2009; McKay et al. 2009). Sin embargo, deberá seleccionarse con precaución la intensidad del entrenamiento para evitar efectos adversos sobre la adaptación fisiológica (Bishop et al. 2008).

El presente trabajo muestra que los jugadores de fútbol profesional se benefician con más rápidas cinéticas de VO_2 . Este nuevo hallazgo es sustentado por investigación que ha mostrado que un más corto τ es importante para mejorar la RSA (Dupont et al. 2005). En efecto, el mejoramiento de τ en los jugadores profesionales podría ser ventajoso para el ajuste metabólico de los procesos oxidativos que son requeridos cuando se realiza la transición desde el reposo al esfuerzo, lo cual es muy común en el fútbol. Es posible que el mejoramiento de la cinética del VO_2 en los jugadores de fútbol profesional en este estudio se encuentre vinculado a sus mayores requerimiento de entrenamiento. Varios estudios han mostrado que el nivel de entrenamiento influencia la cinética del VO_2 en atletas de resistencia (Ingham et al. 2007; Koppo et al. 2004); sin embargo, solo algunos datos se encuentran disponibles sobre deportes de equipo donde se realizan esfuerzos intermitentes de alta intensidad (Dupont et al. 2005). Por lo tanto, se recomienda que los jugadores de fútbol entrenen para mejorar la cinética del VO_2 . Estudios previos han reportado que el entrenamiento intervalado de alta intensidad y corta duración con breves periodos de recuperación entre esfuerzos podrían ser métodos efectivos para mejorar la cinética de VO_2 (Bailey et al. 2009; McKay et al. 2009).

Las mediciones fisiológicas tomadas en este estudio no se correlacionaron con el esfuerzo del mejor sprint de 40 m durante el test de la RSA. Esos resultados sugieren que el rendimiento en ese sprint en jugadores de fútbol se encuentra influenciado por factores fisiológicos distintos del rendimiento aeróbico y/o la capacidad buffer. Sin embargo, en concordancia con nuestra hipótesis inicial, observamos una correlación moderada a grande entre la RSAmédia y RSAdism con las mediciones cardiorrespiratorias y respuestas fisiológicas durante el HIT. La correlación entre VO_2 máx. y RSAmédia fue moderada, y fue grande entre VO_2 máx. y RSAdism. Esos hallazgos concuerdan con aquellos estudios que han mostrado una baja, no significativa a moderada correlación entre el rendimiento en VO_2 máx. y RSAmédia (Aziz et al. 2000; Bishop y Edge 2006; Bishop et al. 2003; Bishop y Spencer 2004; McMahon y Wenger 1998) y sugieren que hay otros factores

fisiológicos diferentes al VO_2 máx. que son mas importantes para mejorar la RSA en jugadores de fútbol entrenados.

Dupont et al. (2005) previamente reportaron una relación moderada entre τ con RSAMedia y RSAISM a partir de un test genérico de la RSA que consistía en 15 sprint de 40 m alternado con 25 s de recuperación activa. Nosotros hemos ampliado esos resultados y confirmamos que existen similares relaciones entre τ con RSAMedia y RSAISM en un test específico de la RSA que ha mostrado ser un test valido relacionado con el rendimiento en el fútbol (Rampinini et al. 2007). Esos resultados, combinados con el presente hallazgo de mas cortos τ en jugadores profesionales, indican que la cinética del VO_2 seria un importante contribuyente fisiológico para el mejoramiento del rendimiento físico durante periodos intensos en un partido de fútbol.

Parece que los factores fisiológicos que subyacen en la reducida contribución anaeróbica durante el HIT podrían ser importantes para mejorar la RSA. En este estudio, se encontraron correlaciones moderadas entre [La-], [H+], y [HCO₃-] con RSAMedia y RSAISM. Esos resultados muestran que los jugadores con una mas baja contribución anaeróbica (por ejemplo menor [La-], menor [H+], y mas alta [HCO₃-]) después del HIT son capaces de rendir mejor durante esfuerzos máximos, tales como el test específico de la RSA utilizado en este estudio. En apoyo a esos resultados, otros también han demostrado que la capacidad para bufferizar los [H+] es importante para un buen RSA (Bishop y Spencer 2004). El análisis de la correlación semiparcial (controlado por la influencia del primer sprint sobre la disminución en el test de la RSA) aumento la fuerza de esas relaciones entre la RSA y las mediciones cardiorrespiratorias y fisiológicas después del HIT. Sin embargo, las variables fisiológicas medidas en este estudio solo explicaron el 44% y el 69% de la varianza en la RSAISM. Esos hallazgos sugieren que factores fisiológicos diferentes a aquellos medidos en este estudio serian importantes para la RSA (por ejemplo fuerza y/o características neuromusculares) (Edge et al. 2006).

Conclusión

Este estudio mostro que el rendimiento en el test específico de la RSA permite diferenciar jugadores profesionales de los amateurs. Además, los jugadores profesionales manifiestan una respuesta fisiológica diferente (por ejemplo menor [La-], menor [H+], y altos niveles de [HCO₃-]) frente a un esfuerzo intermitente de alta intensidad estandarizado y tienen mas rápidas cinéticas de VO_2 que los amateurs con similares VO_{2max} . Además, los resultados a partir del análisis de correlación sugieren que las respuestas fisiológicas al esfuerzo intermitente, τ y VO_{2max} (en menor medida), son determinantes importantes del rendimiento en la RSA en jugadores de fútbol, aun cuando se consideran los efectos del RSAMEJOR sobre RSAISM. Nuestros hallazgos sugieren que para mejorar la RSA, los jugadores entrenados podrían beneficiarse a partir del entrenamiento de la cinética del VO_2 y el mejoramiento de la capacidad de tolerar la acidosis metabólica durante el esfuerzo intermitente e intenso mas que al entrenamiento para lograr mayores VO_{2max} . Se necesitan futuros estudio para determinar otros factores fisiológicamente importantes para la RSA que no han sido investigados en este estudio, el efecto del entrenamiento específico (por ejemplo el entrenamiento aeróbico, anaeróbico y de fuerza) sobre esos determinantes fisiológicos y su consecuente influencia sobre la RSA en los jugadores de fútbol.

Agradecimientos

Los autores agradecen a Franco Impellizzeri por sus valiosas sugerencias. También agradecemos a Paolo Menaspà, Domenico Carlomagno, Andrea Azzalin, Ivan Ferraresi, y Andrea Petruolo por sus valiosos apoyos en la recolección de los datos. También agradecemos por su contribución, a todos los atletas involucrados en este estudio.

REFERENCIAS

1. Andersen, P., and Henriksson, J (1977). Capillary supply of the quadriceps femoris muscle of man: adaptive response to exercise. *J. Physiol.* 270(3): 677-690. PMID:198532
2. Aziz, A.R., Chia, M., and Teh, K.C (200). The relationship between maximal oxygen uptake and repeated sprint performance indices in field hockey and soccer players. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 40(3): 195-200. PMID:11125761
3. Bailey, S.J., Wilkerson, D.P., Dimenna, F.J., and Jones, A.M (2009). Influence of repeated sprint training on pulmonary O₂ uptake and muscle deoxygenation kinetics in humans. *J. Appl. Physiol.* 106(6): 1875-1887. doi:10.1152/jappphysiol.00144.2009. PMID:19342439
4. Balsom, P.D., Wood, K., Olsson, P., and Ekblom, B (1999). Carbo- hydrate intake and multiple sprint sports: with special reference to football (soccer). *Int. J. Sports Med.* 20(1): 48-52. doi:10. 1055/s-2007-971091. PMID:10090462
5. Bangsbo, J (1994). Fitness training in football. *HO+Storm, Bags- værd, Denmark*
6. Bangsbo, J., Mohr, M., and Krstrup, P (2006). Physical and meta- bolic demands of training and match-play in the elite football player. *J. Sports Sci.* 24(7):665-674. doi:10.1080/02640410500482529. PMID:16766496
7. Bangsbo, J., Iaia, F.M., and Krstrup, P (2007). Metabolic response and fatigue in soccer. *Int J Sports Physiol Perform*, 2(2):

8. Bangsbo, J., Iaia, F.M., and Krstrup, P (2008). The yo-yo intermittent recovery test: a useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Med.* 38(1): 37-51. doi:10.2165/00007256-200838010-00004. PMID:18081366
9. Bishop, D., and Edge, J (2006). Determinants of repeated-sprint ability in females matched for single-sprint performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 97(4): 373-379. doi:10.1007/s00421-006-0182-0. PMID:16612646
10. Bishop, D., and Spencer, M (2004). Determinants of repeated-sprint ability in well-trained team-sport athletes and endurance-trained athletes. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, 44(1): 1-7. PMID: 15181383
11. Bishop, D., Lawrence, S., and Spencer, M (2003). Predictors of re-peated-sprint ability in elite female hockey players. *J. Sci. Med. Sport*, 6(2): 199-209. doi:10.1016/S1440-2440(03)80255-4. PMID:12945626
12. Bishop, D., Edge, J., Thomas, C., and Mercier, J (2008). Effects of high-intensity training on muscle lactate transporters and post-exercise recovery of muscle lactate and hydrogen ions in women. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.* 295(6): R1991- R1998. PMID:18832090
13. Borg, G (1998). Borg's perceived exertion and pain scales. *Human Kinetics, Champaign, Ill*
14. Drust, B., Reilly, T., and Cable, N.T (2000). Physiological responses to laboratory-based soccer-specific intermittent and continuous exercise. *J. Sports Sci.* 18(11): 885-892. doi:10.1080/026404100750017814. PMID:11144865
15. Dupont, G., Millet, G.P., Guinhouya, C., and Berthoin, S (2005). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *Eur. J. Appl. Physiol.* 95(1): 27-34. doi:10.1007/s00421-005-1382-8. PMID:15976999
16. Edge, J., Hill-Haas, S., Goodman, C., and Bishop, D (2006). Effects of resistance training on H⁺ regulation, buffer capacity, and repeated sprints. *Med. Sci. Sports Exerc.* 38(11): 2004-2011. doi:10.1249/01.mss.0000233793.31659.a3. PMID:17095936
17. Hamilton, A.L., Nevill, M.E., Brooks, S., and Williams, C (1991). Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. *J. Sports Sci.* 9(4): 371-382. PMID:1787554
18. Hollidge-Horvat, M.G., Parolin, M.L., Wong, D., Jones, N.L., and Heigenhauser, G.J (1999). Effect of induced metabolic acidosis on human skeletal muscle metabolism during exercise. *Am. J. Physiol.* 277(4 Pt. 1): E647-E658. PMID:10516124
19. Holloszy, J.O., and Coyle, E.F (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J. Appl. Physiol.* 56(4): 831-838. PMID:6373687
20. Howley, E.T., Bassett, D.R., Jr., and Welch, H.G (1995). Criteria for maximal oxygen uptake: review and commentary. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27(9): 1292-1301. PMID:8531628
21. Impellizzeri, F.M., Rampinini, E., Castagna, C., Bishop, D., Ferrari Bravo, D., Tibaudi, A., and Wisloff, U (2008). Validity of a repeated-sprint test for football. *Int. J. Sports Med.* 29(11): 899- 905. doi:10.1055/s-2008-1038491. PMID:18415931
22. Ingham, S.A., Carter, H., Whyte, G.P., and Doust, J.H (2007). Comparison of the oxygen uptake kinetics of club and olympic champion rowers. *Med. Sci. Sports Exerc.* 39(5): 865-871. doi:10.1249/mss.0b013e31803350c7. PMID:17468587
23. Koppo, K., Whipp, B.J., Jones, A.M., Aeyels, D., and Bouckaert, J (2004). Overshoot in VO₂ following the onset of moderate-intensity cycle exercise in trained cyclists. *Eur. J. Appl. Physiol.* 93(3): 366-373. doi:10.1007/s00421-004-1229-8. PMID:15503122
24. Krstrup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., et al (2003). The yo-yo intermittent recovery test: physiological response, reliability, and validity. *Med. Sci. Sports Exerc.* 35(4): 697-705. doi:10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32. PMID:12673156
25. McKay, B.R., Paterson, D.H., and Kowalchuk, J.M (2009). Effect of short-term high-intensity interval training vs. continuous training on O₂ uptake kinetics, muscle deoxygenation, and exercise performance. *J. Appl. Physiol.* 107(1): 128-138. doi:10.1152/jappphysiol.90828.2008. PMID:19443744
26. McMahon, S., and Wenger, H.A (1998). The relationship between aerobic fitness and both power output and subsequent recovery during maximal intermittent exercise. *J. Sci. Med. Sport*, 1(4): 219-227. doi:10.1016/S1440-2440(09)60005-0. PMID:9923730
27. Metzger, J.M., and Moss, R.L (1990). Effects of tension and stiffness due to reduced pH in mammalian fast- and slow-twitch skinned skeletal muscle fibres. *J. Physiol.* 428: 737-750. PMID: 2231431
28. Mohr, M., Krstrup, P., and Bangsbo, J (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J. Sports Sci.* 21(7): 519-528. doi:10.1080/0264041031000071182. PMID:12848386
29. Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S.M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., and Impellizzeri, F.M (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int. J. Sports Med.* 28(3): 228-235. doi:10.1055/s-2006-924340. PMID:17024621
30. Spriet, L.L (1991). Phosphofructokinase activity and acidosis during short-term tetanic contractions. *Can. J. Physiol. Pharmacol.* 69(2): 298-304. PMID:1829021
31. Stølen, T., Chamari, K., Castagna, C., and Wisløff, U (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med.* 35(6): 501-536. PMID:15974635
32. Tomlin, D.L., and Wenger, H.A (2001). The relationship between aerobic fitness and recovery from high intensity intermittent exercise. *Sports Med.* 31(1): 1-11. doi:10.2165/00007256-200131010-00001. PMID:11219498
33. Wadley, G., and Le Rossignol, P (1998). The relationship between repeated sprint ability and the aerobic and anaerobic energy systems. *J. Sci. Med. Sport*, 1(2): 100-110. doi:10.1016/S1440-2440(98)80018-2. PMID:9732114
34. Westerblad, H., Allen, D.G., and Larsson, J (2002). Muscle fatigue: lactic acid or inorganic phosphate the major cause?. *News Physiol. Sci.* 17(17): 17-21. PMID:11821531

Cita Original

Rampinini E, Sassi A, Morelli A, Mazzoni S, Fanchini M, Coutts AJ (2009). Repeated-sprint ability in professional and amateur soccer players. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 34: 1048-1054.