

Aplicación del CMJ para el control del entrenamiento en las sesiones de velocidad

Application of the Counter Movement Jump Test to Monitor Training Load in Sprint Sessions

P. Jiménez-Reyes¹, V. Cuadrado-Peñañiel², J.J. González-Badillo^{3,4}

1 Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid

2 Departamento de Didáctica de la Expresión Musical, Plástica y Corporal, Universidad de Castilla-La Mancha

3 Departamento de Deporte e Informática, Facultad del Deporte, Universidad Pablo de Olavide, Sevilla

4 Centro Olímpico de Estudios Superiores, Comité Olímpico Español

CORRESPONDENCIA:

Pedro Jiménez Reyes

Universidad Alfonso X el Sabio, Madrid

Facultad de Ciencias de la Salud. Edificio C-Despacho C-C11

Avda de la Universidad, 1. 28691 Madrid

peterjr49@hotmail.com

Recepción: noviembre 2010 • Aceptación: abril 2011

Resumen

Como respuesta a la necesidad de ajustar las cargas de entrenamiento de los velocistas en las sesiones de velocidad, motivada por la gran variabilidad en el número de series que los entrenadores utilizan y el desconocimiento sobre cuántas series realizar, cuándo deben interrumpir un entrenamiento o qué herramienta usar para controlar de forma óptima el entrenamiento de carrera, se llevó a cabo este estudio, en el que se intentó abordar la relación entre el grado de carga y la fatiga, medida a través de las pérdidas de velocidad y de la capacidad de salto y por el estrés metabólico. Participaron 18 velocistas de nivel nacional e internacional. Realizaron carreras de 40, 60 y 80 m realizadas a la máxima velocidad posible hasta perder un 3% de la velocidad. Se llevó a cabo en tres sesiones diferentes distanciadas en una semana. Antes y después de cada carrera realizaban 3 saltos con contramovimiento (CMJ) y se realizaron tomas de lactato en la primera y última repetición realizada. Las pérdidas producidas en las sucesivas carreras presentó una alta relación entre las distancias y la disminución del salto. En 40 m esta pérdida fue equivalente a la pérdida de velocidad, 3,1% para 40 m, pero aumentó al 6,7% en 60 m y al 8,3% en 80 m. Esta relación entre las pérdidas en CMJ y las distancias recorridas podría utilizarse como indicador del grado de fatiga que producen los distintos tipos de esfuerzos realizados y, por tanto, serían útiles para el control y dosificación de la carga de entrenamiento.

Palabras clave: cuantificación, carga de entrenamiento, control del entrenamiento, rendimiento.

Abstract

In response to the need to adjust training loads of sprinters in speed sessions, due to the large variability in the number of repetitions that coaches use and their ignorance of how many repetitions to execute, when to stop training, or what tools to use to optimally monitor speed session training, this study was carried out, in which we assess the relationship between the degree of load and fatigue, which was measured through speed loss and jump ability as well as metabolic stress. Eighteen national- and international-level sprinters participated. They completed 40m, 60m, and 80m sprints at maximum speed until they lost 3% of their speed. This was carried out in three different sessions with one week between each session. Before and after each sprint they executed three countermovement jumps (CMJ), and lactate was measured in the first and last repetitions. The losses produced in the successive sprints presented a strong relationship between the distances and the reduction in CMJ height. For the 40m run, this loss was equivalent to the speed loss, 3.1% for 40m, though it increased to 6.7% for 60m and to 8.3% for 80m. This relationship between reduction in CMJ height and distances run could be used as an indicator of the degree of fatigue produced by various types of efforts, and, therefore, it would be useful for monitoring and dosage of training load.

Key words: quantification, training load, monitoring training, performance.

Introducción

En la actualidad, la consecución del éxito deportivo se ha convertido en una ardua tarea a conseguir tanto por atletas como por entrenadores. El proceso de entrenamiento requiere un mayor control y análisis tanto de la carga como de los efectos de la misma y por ello se necesita un mayor ajuste de la carga de trabajo para la optimización del rendimiento deportivo.

El entrenamiento deportivo está condicionado por la continua mejora de las marcas obtenidas por los deportistas, que están cada vez más ajustadas entre los mismos, de modo que los resultados, victorias y medallas se definen por diferencias mínimas.

Por tanto, el entrenamiento deportivo de alto nivel constituye en la actualidad una tarea complicada que exige unos niveles de sofisticación técnica, científica y tecnológica cada vez mayores y, por consiguiente, una formación del entrenador acorde con estas demandas. Ésta es la razón por la que en los últimos años la aplicación de la metodología científica para mejorar el rendimiento del atleta ha recibido gran atención. A su vez, debido al gran número de factores que influyen en el rendimiento, tanto del *sprint* (Radford, 1990) como de la fuerza (Cronin y Sleivert, 2005), y al desconocimiento de cuál es el método óptimo de entrenamiento de la fuerza o velocidad (Cronin y Sleivert, 2005; Fowler y col., 1995; Holcomb y col., 1998), se hace necesario optimizar el conocimiento acerca de la preparación del deportista y el efecto del entrenamiento sobre el rendimiento. Por tanto, si el objetivo del entrenamiento para cualquier atleta o entrenador es la mejora del rendimiento, para ello necesitará poner en práctica los medios y recursos más avanzados, aplicar las cargas adecuadas y conocer de manera precisa los efectos del entrenamiento.

Si el principal objetivo del entrenamiento atlético es mejorar el rendimiento y alcanzar el pico de forma en el momento correcto, en las últimas décadas para elevar la capacidad de rendimiento a sus niveles más altos, se han realizado unas cantidades elevadas de entrenamiento intenso. Y aunque se conoce poco acerca de la cantidad óptima de entrenamiento de alta intensidad, los atletas generalmente realizan demasiado entrenamiento.

Todos los atletas en cualquier deporte deben entrenar duro para mejorar. Y para ello al comenzar una temporada si el entrenamiento es duro se produce una bajada de rendimiento, pero si se permite una recuperación adecuada, se produce una supercompensación y mejora del rendimiento (Morton, 1997). Los atletas toleran diferentes niveles de entrenamiento, de competición y de estrés en diferentes momentos, depen-

diendo de sus niveles de salud y capacidad física a lo largo de una temporada. La carga de entrenamiento debe, por consiguiente, ser individualizada, y reducirse o incrementarse dependiendo de la respuesta del atleta (Koutedakis y col., 1995), así como la carga que cada sesión de entrenamiento representa para cada atleta.

Conseguir el rendimiento atlético óptimo requiere un conocimiento de los efectos del entrenamiento durante una temporada de competición para que las estrategias que se puedan diseñar lleven a un atleta a alcanzar su pico de forma en el momento exacto de competición. El entrenamiento todavía se basa demasiado en la experiencia e intuición, pero sería posible una mayor mejora si los efectos del entrenamiento pudieran ser cuantificados y optimizados.

Por consiguiente, para aproximarnos al estudio de esta problemática sobre la carga de entrenamiento, su efecto y el ajuste de las mismas para las pruebas de velocidad y en el atletismo, vamos a presentar la experiencia práctica a través de un estudio que fue diseñado para tal fin. Para ello, se analizó, parcialmente, una de las cuestiones más problemáticas del entrenamiento, como es la dosis de carga y sus efectos inmediatos sobre el organismo, ya que las cargas son la causa de la respuesta del deportista al entrenamiento. En este estudio se analizó el efecto del empleo de diferentes distancias de carrera repetidas realizadas a la máxima velocidad posible sobre la pérdida de velocidad, el estrés metabólico y la capacidad de salto. Dada la falta de conocimiento sobre estos factores y por la gran variabilidad en el número de series que los entrenadores utilizan con sus velocistas y el desconocimiento sobre cuántas series realizar, cuándo deben interrumpir un entrenamiento o qué herramienta usar para controlar de forma óptima el entrenamiento de carrera en los velocistas, se llevó a cabo este estudio, en el que se intentó abordar la relación entre el grado de carga y la fatiga, medida a través de las pérdidas en velocidad, de capacidad de salto y por el estrés metabólico.

La realización de carreras a la máxima velocidad produce determinados efectos metabólicos y mecánicos que pueden ser medidos a través de la pérdida de tiempo o la capacidad de salto. Los resultados de esta medición pueden reflejar cierto grado de fatiga si disminuye la capacidad de salto o si aumenta el tiempo de realización de las carreras, lo que podría considerarse una pérdida de producción de fuerza en la unidad de tiempo (Spencer y col., 2005; Dawson y col., 1998; Holmyard y col., 1987; Hirvonen y col., 1987; Bogdanis y col., 1998). Por tanto, los movimientos que incluyen el Ciclo de Estiramiento-Acortamiento (CEA) incorporan elementos metabólicos, mecánicos y neurales de fatiga

asociados a la incapacidad de activación del reflejo de estiramiento (Nicol y col., 2006). Aunque el CMJ se ha usado habitualmente para la valoración del CEA y del rendimiento atlético (Cormack y col., 2008; Hoffman y col., 2002, 2003; Thorlund y col., 2009), los datos sobre el uso del CMJ para determinar el efecto de las sesiones típicas de velocidad en atletismo sobre la fatiga neuromuscular son insuficientes y contradictorios. Gorostiaga y col. (2010) lo han utilizado en diferentes sesiones de velocidad en especialistas de 400 m y otros lo han usado en entrenamientos o actividades de fuerza como Smilios (1998), Rodacki y col (2002), Skurvydas y col (2000), Nummela y col (1992) Rusko y col (1993) y Sánchez-Medina y González-Badillo (2011). Por ejemplo, Rusko y col. (1993) usaron las pérdidas de altura en CMJ para evaluar la capacidad de generar fuerza de los sujetos y como un indicativo de la fatiga producida durante el test que propone Rusko. Del mismo modo, Nummela y col. (1992) estudiaron la relación entre la pérdida de altura de salto y la concentración de lactato al comprobar el efecto de la carrera sobre el DJ. Por último, Gorostiaga y col. (2010) realizan saltos posteriores a cada carrera y analizan la evolución de la capacidad de salto y del comportamiento metabólico en diferentes sesiones típicas de entrenamiento de los corredores de 400 m, y usaron distancias que oscilaron entre 60 y 300 m.

Sin embargo, no hemos encontrado ningún trabajo en el que se hayan realizado saltos previos y posteriores a cada *sprint* con recuperaciones completas como reflejo del efecto de cada una de las carreras sobre la capacidad de salto y la evolución de la fatiga a lo largo de la sesión de entrenamiento de *sprint*. Tampoco se han observado estudios que analicen los efectos de diferentes distancias de carrera con una pérdida porcentual de rendimiento entre las distancias ni la posible relación que tendrían los valores de fuerza y potencia del tren inferior en las pérdidas de rendimiento. Por tanto, en todos estos estudios, independientemente del protocolo empleado para analizar la evolución de los valores de potencia, se desconoce la acumulación de lactato, la fatiga producida y las posibles relaciones entre los valores de fuerza, velocidad y potencia del tren inferior con la capacidad de salto y el rendimiento en *sprint*.

El conocimiento sobre el ajuste de las cargas de entrenamiento en carreras de velocidad en función de los efectos metabólicos y mecánicos producidos durante su realización evitaría que los entrenadores llegaran a conclusiones falsas sobre el efecto del entrenamiento, alejándose de ese modo de cometer el error de que el entrenamiento realizado (la carga real o estrés orgánico producido en el sujeto) fuera distinto al progra-

mado. Si se pudiera comprobar en la misma sesión de entrenamiento los efectos producidos por el entrenamiento que los atletas están realizando (a través de instrumentos sencillos como puede ser una plataforma de infrarrojos o un analizador de lactato portátil), el control de estos efectos informaría con más precisión sobre qué grado de esfuerzo real se está realizando en cada momento, lo que permitiría a los entrenadores un mejor ajuste entre la carga propuesta y la carga real que realiza el atleta.

Por consiguiente, un mejor conocimiento sobre las respuestas neuromusculares, mecánicas y metabólicas de las sesiones típicas de velocidad en atletismo (40, 60 y 80 m) y los efectos del tiempo de recuperación tras las carreras es importante para planificar un entrenamiento efectivo a lo largo de la temporada y puede aportar información relevante para una mayor comprensión y la individualización del entrenamiento de velocidad así como las óptimas recuperaciones. El objetivo de este estudio fue examinar las respuestas mecánicas y el efecto metabólico en diferentes sesiones de velocidad de 40 m, 60 m y 80 m realizadas a la máxima velocidad posible hasta perder un 3% de rendimiento, para determinar si el CMJ, las pérdidas de velocidad y las respuestas metabólicas podrían usarse para evaluar la fatiga neuromuscular después de *sprints* repetidos realizados a la máxima velocidad durante una sesión de entrenamiento de velocidad. Nuestra hipótesis es que durante una sesión típica de entrenamiento de velocidad la pérdida de la altura de salto en CMJ estaría correlacionada con el descenso del rendimiento en velocidad y las respuestas mecánicas y metabólicas, y esto podría usarse para cuantificar el grado de esfuerzo real que genera la sesión de entrenamiento y sería un indicador válido para tomar la decisión de en qué momento debería interrumpirse la sesión.

Material y Método

Los sujetos (18 velocistas; 23±4,4 años, 177,6±5,9cm y 73,7±4,6kg) realizaron las carreras de 40, 60 y 80 metros en tres sesiones diferentes distanciadas en una semana. Al inicio de cada sesión los sujetos realizaron un calentamiento previo de 10 minutos de carrera suave seguido de aceleraciones. Posteriormente realizaron bloques de ejercicios formados por tres saltos, la carrera correspondiente y otros tres saltos. La recuperación entre la carrera y los saltos posteriores fue aproximadamente de un minuto. La recuperación entre cada uno de los saltos antes y después de la carrera fue de 15 s. Esta secuencia se repitió con recuperaciones de 4, 6 y 8 minutos para las carreras de 40, 60 y 80 metros,

respectivamente. Para las carreras se estableció una distancia parcial que fue de 30 metros para la carrera de 40, de 50 metros para la de 60 y de 60 metros para la de 80. La prueba terminaba cuando el tiempo de la carrera correspondiente se incrementaba en un 3% en dos ocasiones consecutivas, con respecto al mejor registro realizado. Se tomaron muestras de lactato tras finalizar el primer y último bloque. El tiempo fue medido con células fotoeléctricas Omron (China). Los saltos con contramovimiento (CMJ) se midieron con una plataforma de infrarrojos Optojump (Microgate, Bolzano, Italia). Se realizaron tomas de lactato con el analizador de lactato Dr. Lange LP 20 (Bruno Lange, Alemania). Éste fue calibrado antes de cada sesión.

La potencia mecánica se obtuvo con un medidor lineal de posición Isocontrol (JLML I+D, Madrid, España) Conjuntamente se emplea una plataforma de fuerza (JLML I+D, Madrid, España) sincronizada con un medidor lineal de posición del modelo descrito anteriormente.

Resultados

En la tabla 1 se presentan los valores de distintas variables asociadas con las series repetidas de 40 m, 60 m y 80 m. En este estudio, el salto vertical CMJ mostró buena estabilidad (fiabilidad): Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI) de 0,97 (intervalo de confianza del 95%: 0,92-0,98) y Coeficiente de Variación (CV) de 2,6%. El salto vertical SJ mostró buena estabilidad (fiabilidad): CCI de 0,97 (intervalo de confianza del 95%: 0,93-0,98) y CV de 3,3%.

El número de series disminuye a medida que aumenta la distancia. Se puede observar que el número de series hasta un 3% de pérdida de velocidad es un 20% y un 30% inferior en las distancias de 60 m y 80 m, respectivamente, con respecto al número de series en 40 m. El número de series en la distancia de 60 m equivale a un aumento de 80 m de recorrido con respecto a la distancia cubierta en las series de 40 m (480 m frente a 400 m), y a 160 m más en la distancia de 80 m (560 m frente a 400 m). La acumulación de lactato al acabar la última serie de cada distancia es mayor cuanto mayor es dicha distancia, aunque el número de series disminuye progresivamente. El lactato final en la sesión de 60 m es significativamente superior ($p < 0,05$) al registrado en la sesión de 40 m, en la sesión de 80 m también es superior de forma significativa que en las sesiones de 40 m ($p < 0,001$) y 60 m ($p < 0,001$).

La pérdida en la capacidad de salto presenta una evolución similar a la del lactato: aumenta progresivamente a medida que la distancia es mayor. Las pérdidas en el salto después de las carreras de 60 m y 80 m son 2,15 y 2,7 veces superiores, respectivamente, a las pérdidas después de las series de 40 m.

En la figura 1 podemos observar la relación entre las pérdidas de velocidad en las sucesivas carreras, que en todos los casos fue del 3% o ligeramente superior, y la disminución del CMJ después de la última repetición en cada una de las distancias. Hay una alta relación negativa entre el porcentaje de pérdida en CMJ y el número de repeticiones. En los 40 metros, esta pérdida fue equivalente a la pérdida de velocidad, 3,1%, pero aumentó al 6,7% en los 60 metros y al 8,3% en los 80 metros.

Tabla 1. Variables asociadas a las series de 40 m, 60 m y 80 m.

	40 metros	60 metros	80 metros
Nº Series realizadas	10,47 ± 3,93	8,61 ± 2,89	7,61 ± 2,50
Mejor tiempo	5,20 ± 0,24	7,28 ± 0,34	9,61 ± 0,45
Peor tiempo	5,40 ± 0,22***	7,60 ± 0,36***	10,00 ± 0,49***
Mejor tiempo parcial1	4,10 ± 0,18	6,20 ± 0,29	7,40 ± 0,33
Peor tiempo parcial1	4,27 ± 0,17**	6,46 ± 0,30***	7,67 ± 0,35***
Mejor tiempo entre parcial y final	1,09 ± 0,06	1,07 ± 0,05	2,20 ± 0,12
Peor tiempo entre parcial y final	1,12 ± 0,6*	1,14 ± 0,06***	2,32 ± 0,14***
Lactato inicial tras la primera serie	5,42 ± 1,10	7,00 ± 2,13	8,35 ± 2,65
Lactato final	8,38 ± 2,71***	10,55 ± 2,85***	13,80 ± 1,89***
CMJ inicial	46,66 ± 5,76	47,57 ± 5,50	47,68 ± 6,29
CMJ final	45,22 ± 6,64	44,40 ± 6,05***	43,73 ± 6,18***

CMJ: Salto con contramovimiento. 1Tiempo parcial: tiempo hasta 30 metros para la distancia de 40 metros, hasta 50 metros para la distancia de 60 metros y hasta 60 metros para la distancia de 80 metros. n = 18

Los asteriscos indican las diferencias significativas entre el mejor y el peor valor en cada uno de los casos, así como las diferencias entre el lactato y el CMJ inicial y final.

*: $p < 0,05$; **: $p < 0,01$; ***: $p < 0,001$

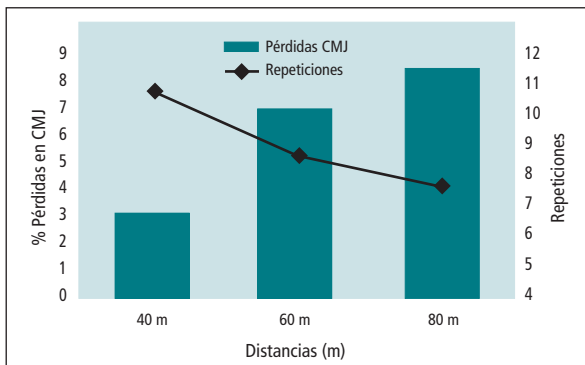


Figura 1. Porcentaje de pérdida de altura en el CMJ al final de la última repetición de cada distancia (barras del gráfico) ante una misma pérdida del 3% de velocidad y el número de repeticiones realizadas (línea del gráfico).

***<0,001 - Los asteriscos indican las diferencias significativas entre el CMJ inicial y final.

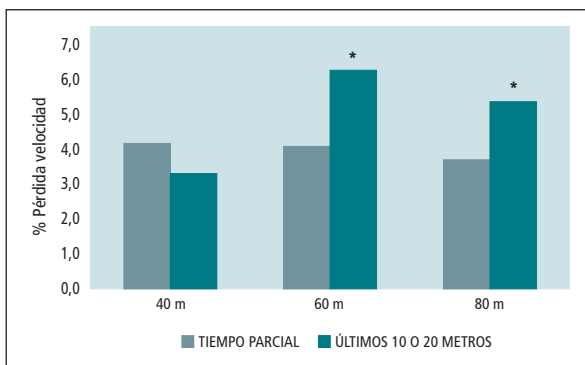


Figura 2. Pérdidas relativas con respecto a la pérdida total en los tiempos parciales y en los últimos 10 m o 20 m. Los tiempos parciales son hasta 30 m cuando se corren 40 m, hasta 50 m para los 60 m y hasta 60 m para los 80 m. Por tanto, los últimos 10 metros se consideran al correr 40 m y 60 m y los últimos 20 metros al correr 80 m.

*<0,05 - Los asteriscos indican las diferencias significativas de la pérdida de velocidad entre tiempo parcial y últimos 10 o 20 metros.

En la figura 2 observamos cómo la pérdida de velocidad en 60 m y 80 m es proporcional y significativamente superior en la fase final de carrera (de 50 m a 60 m para la carrera de 60 m y de 60 m a 80 m para la carrera de 80 m) que en la fase acelerativa (0 a 50 y 0 a 60 metros). En cambio, no observamos esta tendencia para la distancia de 40 m, en la que esta pérdida de velocidad relativa se produce en menor medida en la parte final (de 30 m a 40 m).

Discusión

Uno de los principales hallazgos de nuestro estudio ha sido la comprobación de cómo la pérdida de velocidad o el descenso de rendimiento en 60 y 80 metros es proporcionalmente superior de manera significativa

en la fase de máxima velocidad (de 50 a 60 y de 60 a 80 metros) que en la fase acelerativa (de 0 a 50 y de 0 a 60 metros). No hemos encontrado ningún estudio que analice la proporción de pérdida en distancias parciales dentro de la distancia total recorrida en *sprints* repetidos.

Una posible explicación a esta distribución de las pérdidas podría estar en el hecho de que la duración de la contracción muscular aumenta con el incremento de la fatiga, lo que significa un mayor tiempo de contacto en la carrera (Chapman, 1982; Sprague y Mann, 1983). Si además tenemos en cuenta que la fatiga se manifiesta en mayor medida en la RFD que en el pico máximo de fuerza (Hakkinen y col., 1986 y 1989; González-Badillo y Gorostiaga, 1995), es decir, se manifiesta en mayor medida cuanto menor es el tiempo disponible para aplicar fuerza, tendríamos presentes las dos condiciones que explicarían estos resultados. Por tanto, el hecho de que el tiempo disponible para aplicar fuerza sea menor durante la fase de máxima velocidad, y que, además, la producción de fuerza en la unidad de tiempo (RFD) ha de ser mayor que en la fase de aceleración, podría ser la explicación a la mayor pérdida porcentual observada en esta fase. El incumplimiento de esta tendencia en la distancia de 40 m podría explicarse por el hecho de que los sujetos entrenados aún no están en la fase de máxima velocidad cuando alcanzan los 30 m y, por tanto, los tiempos de apoyo aún no se han reducido a sus valores mínimos.

La disminución del CMJ después de la última serie en cada una de las distancias aumentó progresivamente a medida que aumentaba la distancia recorrida, a pesar de que el número de veces que se recorría cada distancia fue menor cuando ésta aumentaba. En los 40 metros, la pérdida fue equivalente a la pérdida de velocidad, 3,1%, pero aumentó al 6,7% en los 60 metros y al 8,3% en los 80 metros. Por tanto, estos resultados indican que aunque la pérdida porcentual en rendimiento en carrera sea la misma, la fatiga, medida a través de la pérdida de altura en el salto, es mayor a medida que aumenta la distancia.

La mayor pérdida de altura de salto cuanto mayor fue la distancia podría venir explicada por la depleción de ATP y PCr (Fosfocreatina). La relación observada entre el descenso de rendimiento en salto vertical y el incremento de la concentración de amonio en sangre sobre los valores de reposo, que se ha encontrado en algunos estudios de características semejantes al nuestro (Jansson y col., 1987; Stathis y col., 1994; Gorostiaga y col., 2010), indicaría que el contenido de ATP esquelético está reducido al final del ejercicio y que se ha puesto en marcha la vía de urgencia (ADP+ADP) de la producción de energía (Stathis y col., 1994). Este

comportamiento también fue observado por Balsom y col. (1992a; 1992b), que estudiaron el efecto de diferentes tiempos de recuperación al realizar *sprints* sobre 15 m, 30 m y 40 m y entre *sprints* repetidos de 40 metros, y encontraron un aumento de la hipoxantina y el ácido úrico, que son el resultado final de la vía de urgencia de producción de energía mencionada anteriormente. Por tanto, las explicaciones a los resultados de estos trabajos podrían ser aplicadas a nuestro propio estudio, dadas las semejanzas en los tipos de esfuerzos realizados.

Por otra parte, en las actividades de *sprint* máximo que requieren una importante contribución de PCr para proporcionar energía, es probable que la capacidad para mantener el *sprint* se vea afectada por la disponibilidad de PCr en el músculo. Esto se apoya por la relación directa ($r = 0,74$; $p < 0,05$) entre el grado de recuperación de la PCr tras un periodo de recuperación y la consiguiente recuperación del rendimiento, expresado como porcentaje de la potencia media desarrollada (Bogdanis y col., 1995). Estos autores hallaron una relación de $r = 0,86$ ($p < 0,05$) entre la resíntesis de la PCr y la recuperación de la potencia en *sprint*, sugiriendo que la recuperación de los valores de fuerza explosiva (RFD) durante los primeros minutos de recuperación de este tipo de ejercicio también podría dar una idea del grado de recuperación de las reservas musculares de PCr. Estos resultados nos permiten sugerir que la depleción de PCr también está en la base de las pérdidas de velocidad y de altura de salto observadas en nuestro estudio.

Las pérdidas de velocidad y altura del salto también podrían estar relacionadas con la reducción de la fuerza y la rigidez músculo-tendinosa de las extremidades inferiores (Toumi y col., 2006). Esta sugerencia parece cumplirse en los resultados de Nummela y col. (1992), que expresaron la fatiga como la disminución de la frecuencia de paso, la velocidad de carrera y la disminución de la capacidad de salto en el *drop jump*, que son expresiones de fuerza y rigidez muscular. En este estudio, la disminución de salto inmediatamente después de correr fue de un 8,2% en 100 m y un 8,7% en 200 m, mientras que tras correr 300 y 400 m disminuyó un 15,6% y 25,4% respectivamente. Dadas las características del esfuerzo realizado en nuestro estudio, sugerimos que la fatiga producida (pérdida de velocidad) por las series repetidas de velocidad se ha manifestado por la disminución de la RFD_{max} y la velocidad de acortamiento muscular, factores determinantes de la altura del salto. La velocidad de acortamiento muscular necesariamente ha tenido que disminuir, puesto que la altura del salto depende directamente de la velocidad de despegue, y la velocidad de despegue es directamente proporcional a la

velocidad de acortamiento muscular en la fase concéntrica del salto. En cuanto a la RFD_{max}, estos resultados ponen de manifiesto que la fatiga influye notablemente sobre la producción de fuerza en la unidad de tiempo, puesto que la altura del salto está altamente relacionada con esta variable ($r = 0,81$, González Badillo, datos no publicados). Hasta la fecha, no ha sido posible identificar los factores más importantes responsables de la fatiga muscular durante los *sprints* repetidos (Méndez-Villanueva y col., 2007). Generalmente se acepta que la fatiga en ejercicios de corta duración está causada principalmente por factores metabólicos y sus metabolitos (Billaut y Basset, 2007), y se ha sugerido que uno de los mecanismos de la fatiga en este tipo de actividades intermitentes y de máxima intensidad es una insuficiente resíntesis de los fosfatos intramusculares de alta energía (Balsom y col., 1992). Además, la incapacidad para reproducir el rendimiento en *sprints* sucesivos durante *sprints* repetidos se ha sugerido que principalmente se debe a cambios dentro del músculo (Glaister, 2005). En este sentido, se ha propuesto como algunos de los mecanismos responsables la acumulación de metabolitos (Bishop y col., 2004), la degradación de la fosfocreatina (Glaister, 2005) o la influencia negativa sobre el mecanismo de contracción-relajación (Ortenbland y col., 2000). Los ajustes neurales tales como la reducción de la conducción nerviosa del sistema hacia la musculatura activa (Drust y col., 2005; Racinais y col., 2007), la reducción de la activación muscular (Kinugasa y col., 2004; Racinais y col., 2007) y alteraciones en la coordinación muscular (Billaut y col., 2005) también se consideran relacionadas con el desarrollo de la fatiga durante los *sprints* repetidos. Por tanto, las pérdidas en CMJ se podrían considerar como un buen indicador de la fatiga por depender muy directamente, al igual que los *sprints*, de estos factores neurales y por su relación con las distancias recorridas. Por tanto, serían muy útiles para el control y dosificación de la carga de entrenamiento.

La disminución del salto en CMJ mostró una diferencia significativa con respecto a la altura previa en las distancias de 60 y 80 m, mientras que en el lactato las diferencias significativas se dieron en todas las distancias (Tabla 1). Estos resultados son similares a los de Rusko y col. (1993), que también usaron las pérdidas de altura en CMJ para evaluar la capacidad de generar fuerza de los sujetos y como un indicativo de la fatiga producida durante el test. En este estudio, el mayor valor de CMJ se dio en el cuarto *sprint*, cuando los valores de lactato no habían llegado a los 5 mmol·l⁻¹ y empezó a disminuir de forma significativa a partir del octavo *sprint* (17,6% respecto al primer *sprint*) cuando los valores de lactato eran de 10,5 mmol·l⁻¹. En nuestro estudio, en el que las pérdidas de velocidad en todas

las carreras fueron proporcionalmente las mismas, se encontró una tendencia semejante, puesto que en 40 m las pérdidas no fueron significativas en CMJ y el lactato sólo alcanzó aproximadamente los 8 mmol·l⁻¹, mientras que en los 60 y 80 m en los que se sobrepasó los 10 mmol·l⁻¹, las pérdidas en CMJ sí fueron significativas. Estos resultados sugieren que controlando el CMJ se puede estimar el estrés metabólico que se está produciendo durante el esfuerzo.

Nummela y col. (1992) hallaron una relación negativa significativa entre la pérdida de altura de salto y la concentración de lactato ($r = -0,77$, $p < 0,001$) cuando comprobaban el efecto de la carrera sobre el DJ. Sin embargo, en nuestro caso no se ha dado relación significativa entre las pérdidas de altura y los cambios en la concentración de lactato con respecto a los valores alcanzados después de la primera carrera. A pesar de que el lactato aumenta de manera significativa después de la última serie en todas las comparaciones de las tres distancias, el CMJ sólo se reduce de manera significativa ($p = 0,04$) entre la distancia de 40 y 80 m. Esta menor pérdida de CMJ en comparación con el lactato puede explicar que los cambios entre estas dos variables no se muestren significativos estadísticamente. Por tanto, es probable que sólo una pérdida de velocidad del 3% en cada una de las distancias no sea suficiente para que se dé una relación entre dichos cambios.

Sin embargo, en nuestro estudio se encontró una relación negativa moderada entre la altura del salto antes de iniciar los esfuerzos y el cambio (aumento) del lactato en la carrera de 40 m ($r = -0,5$; $p < 0,05$), pero no en 60 m y 80 m. En estas dos distancias se dieron igualmente relaciones negativas, aunque no significativas ($r = -0,15$ y $r = -0,5$), es decir que los sujetos que tendían a saltar más eran los que tendían a alcanzar concentraciones de lactato mayores pero no de manera significativa. No hemos encontrado estudios que hayan analizado este tipo de relación. La mayor tendencia a producir lactato en aquellos sujetos que saltaban más en reposo puede venir explicada por el

hecho de que los sujetos que más saltan tienden a poseer un mayor porcentaje de fibras rápidas (Bosco, 1991) y, por tanto, tienen una mayor capacidad glucolítica anaeróbica. Es probable que la intervención de las fibras lentas en las distancias de 60 y 80 m, debido a la mayor fatiga, reduzcan las diferencias en la producción de lactato en sujetos de distinta composición muscular.

Conclusiones y aplicaciones prácticas

- Las pérdidas de rendimiento a medida que se realizan series repetidas en distancias cortas se producen en mayor proporción en la fase de máxima velocidad dentro de la distancia recorrida que en la fase acelerativa.
- Aunque la pérdida porcentual en rendimiento en carrera sea la misma, la fatiga, medida a través de la pérdida de altura en el salto es mayor a medida que aumenta la distancia.
- Las pérdidas en CMJ se podrían considerar como un buen indicador de la fatiga por depender muy directamente, al igual que los *sprints*, de factores neurales y por su relación con las distancias recorridas.
- A través del control del CMJ se puede estimar el estrés metabólico que se está produciendo durante el esfuerzo.
- Si durante una sesión de entrenamiento no se puede medir de manera precisa la velocidad, ni la concentración de lactato, el test de CMJ debe ser utilizado para el control y dosificación de la carga, porque la reducción de la capacidad de producción de fuerza en la unidad de tiempo, factor determinante de la velocidad, viene expresada por la pérdida de altura en el salto vertical. Por tanto, la pérdida de altura en el salto nos proporciona una información razonablemente precisa para tomar la decisión sobre el momento en el que el sujeto debería interrumpir la sesión de entrenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Balsom, P.D., Seger, J.Y., Sjödin, B & Ekblom, B. (1992a). Maximal intensity exercise: effect of recovery duration. *Int J Sports Med*, 13:528-33.
- Balsom, P.D., Seger, J.Y., Sjödin, B., & Ekblom, B. (1992b). Physiological responses to maximal intensity intermittent exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 65, 144-149.
- Billaut, E., Basset, F.A., & Falgairette, G. (2005). Muscle coordination changes during intermittent cycling sprints. *Neurosci. Lett.* 380:265-269.
- Billaut, F. & Basset, F.A. (2007). Effect of different recovery patterns on repeated-sprint ability and neuromuscular responses. *Journal of Sports Sciences*, Jun;25(8):905-13.
- Bishop, D., Davis, C., Edge, J. & Goodman, C. (2004). Induced metabolic alkalosis effects muscle metabolism and repeated-sprint ability. *Med. Sci. Sports Exerc.* 36:807-813.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H., Lakomy, H.K.A. & Nevill, A.M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in man. *J Physiol (Lond)*; 15: 467-80.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Lakomy, H.K.A. & Boobis, L.H. (1998). Power output and muscle metabolism during and following recovery 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiolo Scand*, Jul;163(3):261-72.
- Chapman, A.E. (1982). Hierarchy of changes induced by fatigue in sprinting. *Canadian Journal of Applied Sport Sciences*, 7, 116-22.

- Cormack, S.J., Newton, R.U., & McGuigan, M.R. (2008). Neuromuscular and endocrine responses of elite players to an Australian rules football match. *Int J Sports Physiol Perform* 3: 359-374.
- Cronin, J. & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sport Med*. 35(3): 213-234
- 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. *European Journal of Applied Physiology*, 78, 163-169.
- Drust, B., Rasmussen, P., Mohr, M., Nielsen, B. & Nybo, L. (2005). Elevations in core and muscle temperature impairs repeated sprint performance. *Acta Physiol. Scand*. 183:181-190.
- Fowler, N. E., Trzaskoma, Z., Wit, A., Iskra, L., & Lees, A. (1995). The effectiveness of a pendulum swing for the development of leg strength and counter-movement jump performance. *J Sports Sci* 13, 101-108.
- Glaister, M. (2005). Multiple Sprint Work Physiological Responses, Mechanisms of Fatigue and the Influence of Aerobic Fitness. *Sports Medicine*, 35(9):757-77.
- González-Badillo, J.J. & Gorostiaga, E. (1995). *Fundamentos del entrenamiento de fuerza. Aplicación al alto rendimiento deportivo*. Barcelona. INDE.
- Gorostiaga, E.M., Asiain, X., Izquierdo, M., Postigo, A., Aguado, R., Alonso, J.M. & Ibáñez, J. (2010). Vertical Jump Performance and Blood Ammonia and Lactate Levels During Typical Training Sessions In Elite 400-m Runners. *J Strength Cond Res*.,24(4):1138-49.
- Hoffman, J.R., Maresh, C.M., Newton, R.U., Rubin, M.R., French, D.N., Volek, J.S., Sutherland, J., Robertson, M., Gomez, A.L., Ratamess, N.A., Kang, J., & Kraemer, W.J. (2002). Performance, biochemical, and endocrine changes during a competitive football game. *Med Sci Sports Exerc* 34:1845-1853.
- Hoffman, J.R., Nusse, V., & Kang, J. (2003). The effect of an intercollegiate soccer game on maximal power performance. *Can J Appl Physiol* 28: 807-817.
- Hakkinen, K. & Kauhainen, H. (1989). Daily changes in neural activation, force-time and relaxation-time characteristics in athletes during very intense training for one week. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol*. 29: 243-249.
- Hakkinen, K., Komi, P.V. & Kauhainen, H. (1986). Electromyographic and force production characteristics of leg extensor muscles of elite weight lifters during isometric, concentric, and various stretch-shortening cycle exercises. *Int. J. Sports Med*. 7(3):144-151.
- Hirvonen, J., Rehunen, S., Rusko, H. & Harkonen, M. (1987). Break-down of high-energy phosphate compounds and lactate accumulation during short supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*.; 56(3): 253-9.
- Holcomb, W.R., Kleiner, D.M. & Chu, D.A. (1998). Plyometrics: Considerations for safe and effective training. *Strength Cond*. 20:36-39.
- Holmyard, D.J., Cheatham, M.E & Lakomy, H.K.A. (1987). Effect of recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. Liverpool: *E & FN Spon*.; 134-42.
- Jansson, E., Dudley, G.A., Norman, B. & Tesch, P.A. (1987). ATP and IMP in single human muscle fibres after high intensity exercise. *Clin. Physiol*. 7: 337-345, 1987.
- Kinugasa, R., Akima, H., Ohta, A., Sugiura, K & Kuno, S. (2004). Short-term creatine supplementation does not improve Muscle activation or sprint performance in humans. *Eur. J. Appl. Physiol*. 91:230-237.
- Koutedakis Y., Frischknecht R., Vrbová G., Sharp N.C., & Budgett, R. (1995). Maximal voluntary quadriceps strength patterns in Olympic overtrained athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 27(4):566-72.
- Méndez-Villanueva, A., Hamer, P. & Bishop, D. (2007). Fatigue Responses during Repeated Sprints Matched for Initial Mechanical Output. *Med. Sci. Sports Exerc.*, Vol.39, No.12, pp.2219-2225.
- Morton, H.R. (1997). Modeling training and overtraining. *J Sports Sci*. 15(3):335-40.
- Nicol, C., Avela, J., & Komi, P.V. (2006). The stretch-shortening cycle: a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Med* 36: 977-999.
- Nummela, A., Vuorimaa, T., & Rusko, H. (1992). Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *Journal of Sports Sciences*, 10, 217-228.
- Ortenblad, N., Lunde, P.K., Levin, K., Andersen, J.L. & Pedersen, P.K. (2000). Enhanced sarcoplasmic reticulum Ca²⁺ release following intermittent sprint training. *Am. J. Physiol*. 279:R152-R160.
- Racinais, S., Bishop, D., Denis, R., Lattier, G., Mendez-Villanueva, A. & Perrey, S. (2007). Muscle deoxygenation and neural drive to the muscle during repeated sprint cycling. *Med. Sci. Sports Exerc*. 39:268-274.
- Radford, P.F. (1990). Sprinting. In: Reilly, T., Secher, N., Snell, P., Williams, C. (Eds.), *Physiology of Sports. E & FN Spon*, London, pp. 71-99 (Chapter 3).
- Rodacki AL., Fowler NE., & Bennett SJ. (2002). Vertical jump coordination: fatigue effects. *Med Sci Sports Exerc*; 34(1):105-16.
- Rusko, H., Nummela, A. & Mero, A. (1993). A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol*. 66:97-101.
- Sánchez-Medina, L. & González-Badillo, J.J. (2011). Velocity Loss as an Indicator of Neuromuscular Fatigue during Resistance Training. *Med Sci Sports Exerc*; doi: 10.1249/MSS.0b013e318213f880
- Skurvydas A, Jascaninas J & Zachovajavas P. (2000) Changes in height of jump, maximal voluntary contraction force and low-frequency fatigue after 100 intermittent or continuous jumps with maximal intensity. *Acta Physiol Scand*.;169(1): 55-62.
- Smilios I. (1998). Effects of varying levels of muscular fatigue on vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. 12(3):204-8.
- 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*; 35 (12): 1025-1044.
- Sprague, P. & Mann, R.V. (1983). The effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 54, 60-66.
- Stathis, C.G., Febbraio, M.A., Carey, M.F. & Snow, R.J. (1994). Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J Appl Physiol*; 76:1802-1809.
- Thorlund, J.B., Aagaard, P., & Madsen, K. (2009). Rapid muscle force capacity changes after soccer match play. *Int J Sports Med* 30: 273-278.
- Toumi, H., Poumarat, G., Best, T.M., Martin, A., Fairclough, J. & Benjamin, M. (2006). Fatigue and muscle-tendon stiffness after stretch-shortening cycle and isometric exercise. *Appl Physiol Nutr Metab*.; 31(5): 565-572.