

## Análisis de variables medidas en salto vertical relacionadas con el rendimiento deportivo y su aplicación al entrenamiento

### Analysis of Variables Measured in Vertical Jump Related to Athletic Performance and its Application to Training

P. Jiménez-Reyes<sup>1</sup>, V. Cuadrado-Peñañiel<sup>2</sup>, J.J. González-Badillo<sup>3,4</sup>

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: marzo 2011

#### Resumen

Uno de los indicadores de la condición física de los atletas es la potencia. La altura del salto es un buen predictor de la potencia muscular, y, por tanto, varios tipos de saltos verticales se han empleado como tests estandarizados del rendimiento deportivo. El objetivo de este estudio fue analizar la relación entre la capacidad de salto y la capacidad de aceleración en velocistas. Participaron 36 velocistas de nivel nacional e internacional y realizaron los saltos *Squat Jump* (SJ), el Salto con Contramovimiento (CMJ) y el CMJ con cargas progresivas (CMJc), además de carreras de 20 m y 30 m. En nuestro caso, obtuvimos relaciones significativas entre el CMJ ( $r=-0,65$ ,  $p<0,01$ ) y el CMJ con aquella carga que permite generar la máxima potencia en el test de CMJc ( $r=-0,56$ ,  $p<0,01$ ), dándose las mayores relaciones para el tramo lanzado de 20 m a 30 m. En conclusión, el tiempo en distancias lanzadas sería la mejor referencia para comprobar la evolución del rendimiento, aconsejando que el control de los cambios producidos por el entrenamiento en la velocidad en la fase de aceleración debería evaluarse en un tramo lanzado. Además, la carga con la que se alcanza la máxima potencia en el salto (CMJMP) debe utilizarse para controlar la evolución de la condición física del deportista en cualquier momento del ciclo de entrenamiento.

**Palabras clave:** velocidad, salto vertical, rendimiento.

#### Abstract

Power output is acknowledged as an indicator of physical condition for athletes. Vertical jump height is a good predictor of muscle strength (power output), and therefore several types of vertical jump tests have been used to evaluate athletic performance. The aim of this study was to analyse the relationship between jumping and acceleration abilities in sprinters. Thirty-six sprinters from the national and international level took part in this study, completing Squat Jumps (SJ), Counter movement jumps (CMJ), and CMJ with progressive loads (CMJLoad), as well as 20m and 30m sprints. In this study, we obtained significant relationships between the CMJ ( $r=-0.65$ ,  $p<0.01$ ) and the CMJ with a load that generates the maximal power output in the CMJLoad test ( $r=-0.56$ ,  $p<0.01$ ), and the highest correlation was for the distance between 20m and 30m. In conclusion, time in shuttle distances (in this case the distance between 20m and 30m) would be the most reliable reference for verifying performance progression, and it would be advised that monitoring the changes introduced by speed training in the acceleration phase be conducted in a shuttle run distance. Furthermore, the load with which the maximum power output when jumping (CMJMP) is achieved should be used to monitor the progression of the athlete's physical condition at any time during the training programme.

**Key words:** sprint, vertical jump, performance.

## Introducción

Uno de los indicadores de la condición física de los atletas es la potencia, puesto que es una de las manifestaciones de fuerza fundamentales para conseguir un mayor rendimiento deportivo (Wilson y col., 1993; Kawamori y Haff., 2004). Dicho de otro modo, el rendimiento en un gran número de acciones deportivas depende de la capacidad del sujeto de aplicar fuerza por la unidad de tiempo. Por tanto, a medida que mejora el rendimiento se reduce el tiempo para aplicar fuerza, y la única solución para mejorar el rendimiento es mejorar la relación fuerza-tiempo, es decir, aplicar más fuerza en menos tiempo (González-Badillo, 2000a, 2002).

Tradicionalmente los entrenadores han mostrado gran interés por aquellos test que les permitan predecir el rendimiento deportivo de sus atletas, siendo los saltos verticales un método común (Bosco y col., 1983; Ugarkovic y col., 2002; Cronin y Hansen, 2005). Por ello, el rendimiento en salto se ha convertido en una parte importante de los tests de capacidades físicas en los deportes y en ciertas áreas médicas (Ugarkovic y col., 2002). En particular, se ha mostrado que la altura de varios tipos de salto vertical podría servir para la valoración (Wisloff y col., 2004). Está bien aceptado que la altura del salto es un buen predictor de la potencia muscular y, por tanto, varios tipos de saltos verticales, entre ellos el salto con contramovimiento (CMJ) y el salto sin contramovimiento (SJ), se han empleado como tests estandarizados del rendimiento deportivo (Bosco y col., 1983; Driss y col., 1998; Vandewalle y col., 1987; Ugarkovic y col., 2002). Los tests más utilizados por sus características biomecánicas son el *Squat Jump* (SJ) con una pierna, SJ con dos piernas, el Salto con Contramovimiento (CMJ), el *Drop Jump* (DJ) o series de saltos continuos (Hatze, 1998; Ugarkovic y col., 2002).

Según Alcaraz (2009), el *sprint* es la habilidad de correr a máxima velocidad o cerca de la máxima velocidad durante cortos periodos de tiempo (en Baughman, Takaha & Tellez, 1984) y esta habilidad está fuertemente relacionada con la capacidad de fuerza y potencia en el salto vertical como el CMJ y el SJ, considerándose predictoras del rendimiento en el *sprint* algunas de las variables analizadas en los saltos verticales (Nesser y col., 1996; Dowson y col., 1998; Cronin y Hansen, 2005).

La hipótesis del presente estudio, por tanto, sería comprobar si la fuerza dinámica máxima, la producción de fuerza en la unidad de tiempo y la potencia muscular, medidas a través de la flexión-extensión completa de las piernas en salto vertical, tienen una re-

lación significativa con la velocidad de desplazamiento en distancias cortas. Y el objetivo que se planteó para ello fue el análisis del CMJ y SJ y la relación con el rendimiento en velocidad de carrera en distancias cortas.

## Material y Método

La muestra fue un grupo de 36 atletas de nivel nacional en pruebas de velocidad (edad  $25,4 \pm 4,5$  años, peso corporal  $75,5 \pm 7,3$  kg, altura  $179,9 \pm 5,6$  cm; masa grasa  $9,9 \pm 2,3\%$ ; años de experiencia  $9,1 \pm 3,2$  años). Ninguno de ellos presentaba lesiones en el tren inferior en el momento de la realización de las mediciones. Todos los participantes fueron informados detalladamente sobre el contenido del estudio, sus objetivos, sus posibles riesgos y beneficios, y todos ellos dieron su consentimiento por escrito antes de realizar los tests. El estudio fue realizado de acuerdo con la Declaración de Helsinki y la ley orgánica 15/1999, del 13 de diciembre, con relación a la protección de datos de carácter personal. Se desarrolló entre los meses de abril y mayo, una vez empezado el periodo de competición al aire libre de la temporada atlética.

## Procedimiento

Todos los sujetos realizaron los tests en las mismas condiciones y con las mismas indicaciones, así que en este caso no existieron variables situacionales. El efecto del aprendizaje no existió o se eliminó, porque los sujetos estaban familiarizados con los ejercicios del salto CMJ y el salto CMJ con carga (CMJ).

Los tests se realizaron durante una sesión para cada uno de los grupos que se formaron. Cada grupo tenía un máximo de 6 sujetos con el objetivo principal de que los descansos entre los tests fueran los adecuados. La duración total de los tests se programó para dos horas. Se realizó la medición a un grupo por día, teniendo en cuenta que la franja horaria, de 18:00 a 20:00 horas, fuera la misma para cada uno de los grupos. El orden seguido en cada una de las sesiones fue el siguiente:

## Tiempo en 20 y 30 metros

Se midió el tiempo en recorrer 20 y 30 m utilizando unas células fotoeléctricas (Omron, China). Las mediciones se realizaron en un recinto cubierto, en una recta de 50 m acondicionada para este tipo de pruebas, con suelo de tartán. Todos los sujetos realizaron un calentamiento estandarizado previo de 15 min dirigido por el investigador. El calentamiento estandarizado

consistió en 5 min de trote continuo, 2 progresiones de 50 m, 2 repeticiones de 30 m al 80-90% y 2 repeticiones de 15 m al 100%. El descanso entre las series del calentamiento fue de 2 min. Para la medición del test, se situaron 3 marcadores a 0 m, a 20 m y a 30 m a la altura del pecho. Después del calentamiento, los sujetos pasaban a realizar el test de 30 m, con la medición del tiempo parcial al paso por los 20 m. Se realizaron dos intentos con un descanso de 5 min entre cada intento. Los sujetos partían de una posición de pie con una pierna adelantada y colocada inmediatamente por detrás de la línea de salida que estaba situada un metro por detrás de la marca de 0 m. La toma de tiempo se realizó entre 0-20 m, 0-30 m y 20-30 m. El mejor de los dos intentos se utilizó como resultado de la prueba y para los análisis posteriores.

### Saltos verticales (CMJ, CMJc y SJ)

El CMJ es un salto vertical en el que se pretende alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad realizando una flexión-extensión rápida de piernas con la mínima parada entre ambas fases. La flexión de rodillas tenía que llegar hasta un ángulo aproximado de 90°. No se permitía la ayuda de brazos, por lo que las manos debían quedar fijas, pegadas a las caderas. El tronco debía estar próximo a la vertical, sin un adelantamiento excesivo. Las piernas debían permanecer rectas durante la fase de vuelo, tomando contacto con el suelo con las puntas de los pies, y las rodillas estiradas. Después de tomar contacto con el suelo se podían flexionar las piernas hasta un ángulo aproximado de 90° en las rodillas. La posición inicial del sujeto era de pie con el cuerpo estirado y guardando la vertical (sin flexión de caderas o rodillas y sin inclinación hacia los lados o delante-atrás). La medición se hizo con una plataforma de infrarrojos Optojump (Microgate, Bolzano, Italia). Se realizaron cinco saltos, separados por un minuto de descanso aproximadamente. Se eliminaron los dos valores extremos (mejor y peor) y se hizo la media de los tres centrales. A continuación se realizó el CMJ con carga adicional. Se realizaron dos saltos de calentamiento con la primera carga que se iba a medir, se descansó durante dos minutos y se comenzó el test. La carga con la que se obtuvo la máxima potencia durante el (CMJ) se determinó utilizando cargas progresivas desde 17 kg hasta que la altura del salto fue igual o inferior a 18 cm. El tiempo de vuelo se midió con una plataforma de infrarrojos Optojump (Microgate, Bolzano, Italia). Entre cada salto se dejó un tiempo de recuperación de 3 minutos. Por último se realizó el test SJ que es un salto vertical en el que se pretende alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad partiendo desde una flexión de rodillas sin realización

de contramovimiento. La flexión debía llegar hasta un ángulo aproximado de 90°, aunque el grado de flexión no parece determinante si los saltos son “normales” o “naturales” (González-Badillo, 2005b). Las manos debían quedar fijas, pegadas a las caderas. El tronco debía estar vertical, sin un adelantamiento excesivo. Las piernas debían permanecer rectas durante el vuelo, tomando contacto con el suelo con las puntas de los pies y las rodillas estiradas. Después de tomar contacto con el suelo se pueden flexionar las piernas hasta un ángulo aproximado de 90° en las rodillas. El protocolo fue el mismo utilizado para el CMJ, con la diferencia de que el sujeto, como hemos indicado, partía de una posición estable de 90° de flexión en rodilla y la carga que se utilizó fue sólo de 17 kg.

### Análisis de datos

Para la descripción de los resultados se utilizaron los cálculos clásicos de tendencia central: medias; de variabilidad: desviaciones típicas, el número de casos, los valores máximos y mínimos y los porcentajes de cada grupo de valores según los casos. Se analizó la fiabilidad de las medidas aplicando el coeficiente de correlación intraclase (CCI), el error típico de medida (ETM) y su expresión en términos relativos, es decir, el coeficiente de variación (CV). Para la relación entre variables se analizó con el coeficiente de correlación bivariado de Pearson, y en todos los casos en que se estableció una relación entre variables o se contrastaron las diferencias entre medias se consideraron significativas si la probabilidad de error era igual o menor que el 5% ( $p \leq 0,05$ ).

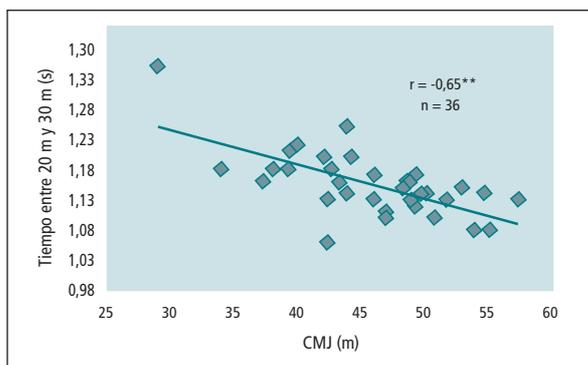
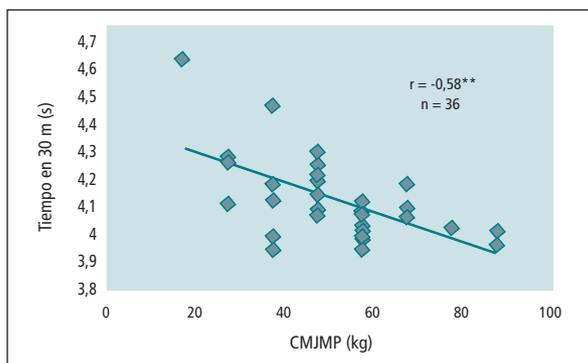
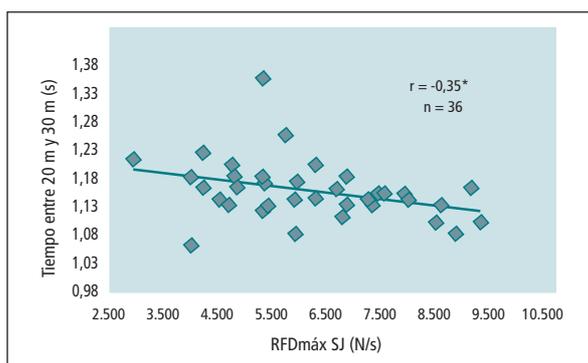
### Resultados

En este estudio el salto vertical CMJ mostró buena estabilidad (fiabilidad): Coeficiente de Correlación Intraclase (CCI) de 0,97 (intervalo de confianza del 95%: 0,93-0,98) y Coeficiente de Variación (CV) de 2,5%. El SJ mostró buena estabilidad (fiabilidad): CCI de 0,97 (0,93-0,98) y CV de 3,7%. La “producción de fuerza máxima en la unidad de tiempo” ( $RFD_{m\acute{a}x}$ )SJ presentó un CCI de 0,93(0,86-0,96) y un CV de 10%. Para las carreras, el CCI entre 0-20 m fue de 0,85 (0,71-0,92), entre 0-30 m de 0,92 (0,84-0,96) y entre 20-30 m de 0,96 (0,92-0,98). El CV de estas distancias fue: 2,1% (0-20m), 1,5% (0-30m) y 0,1% (20-30m).

Las relaciones entre los valores de las variables relacionadas con datos de fuerza y potencia en salto y los tiempos en las carreras de 20 m y 30 m aumentan cuando se trata del tramo lanzado entre 20 m y 30 m (Tabla 1). Todas las variables relacionadas con el

**Tabla 1. Relaciones entre los tiempos en las carreras de 20 m y 30 m y variables relacionadas con el salto vertical**

	CMJ	CMJMP	RFDmaxSJ
T 20 m (n=36)	$r=-0,59^{**}$	$r=-0,54^{**}$	$r=-0,13$
T 30 m (n=36)	$r=-0,65^{**}$	$r=-0,58^{**}$	$r=-0,21$
T 20-30 m (n=36)	$r=-0,65^{**}$	$r=-0,56^{**}$	$r=-0,35^*$

**Figura 1.** Relación entre la altura en el CMJ y el tiempo entre 20 y 30 m.**Figura 2.** Relación entre la carga de máxima potencia en CMJ y el tiempo en 30 m.**Figura 3.** Relación entre el RFD<sub>máx</sub> en SJ medido en plataforma dinamo-métrica y el tiempo entre 20 m y 30 m.

salto vertical tienen una relación significativa con los tiempos en 20 m, 30 m y entre 20-30 m. La relación de las distintas variables con el tiempo entre 20-30 m tiende a ser superior a la que se da con los tiempos en 20 m y en 30 m, y la relación con la distancia de 20 m

es inferior a las demás distancias en todos los casos (Tabla 1).

En las figuras 1, 2 y 3 se presentan las relaciones con el valor más alto en cada una de las variables. Estas figuras pertenecen en todos los casos a la relación con la distancia entre 20 m y 30 m, excepto en la relación con el CMJ que permite general la máxima potencia (CMJ<sub>MP</sub>), que corresponde a la relación con la distancia de 30 m.

## Discusión

Uno de los hallazgos de nuestro estudio, que puede tener aplicación práctica para la evaluación de la velocidad de desplazamiento, es el hecho de que los primeros metros (en nuestro caso de 0-20 m) medidos en una carrera, al menos cuando ésta se realiza partiendo con salida de pie, es un tramo menos fiable (CCI: 0,85; CV: 2,1%) que cuando se mide la fase lanzada (en nuestro caso 20-30 m), que presenta un CCI de 0,96 y un CV de sólo 0,1%. La distancia total presentó valores intermedios de estabilidad (CCI: 0,92; CV: 1,5%), ya que se beneficia de la fiabilidad de la fase lanzada pero también recoge la menor estabilidad de la salida. Tan solo hemos encontrado un estudio (Kukolj y col., 1999) que diferenciara entre 2 fases en una carrera hasta 30 m, pero no analizan el CCI en cada una de las fases y no describen con suficiencia el modo de salida empleado y que puede influir sobre una menor estabilidad en la medida si no se controla adecuadamente. Kukolj y col. (1999) encontraron una relación entre la carrera entre 15-30 y el CMJ de 0,48 ( $p < 0,05$ ) y de 0,09 entre la carrera entre 0,5-15 m, lo que está alejado de lo encontrado en nuestro estudio por lo que se ha citado anteriormente. No hemos encontrado en la literatura otros estudios que analicen la fiabilidad de la medida del tiempo de desplazamiento en distancias parciales cuando se recorren tramos de 30-40 m en los que el sujeto se encuentra en fase de aceleración, y tampoco en otras distancias más prolongadas. Esta menor fiabilidad del tramo de salida parece que es un hecho real, puesto que en sucesivas mediciones posteriores a este estudio, en otras especialidades deportivas de distintas características y edades hemos encontrado resultados similares. Aunque la distancia del punto de salida a la primera célula se controló, la técnica inestable de salida de los sujetos puede haber influido en la menor fiabilidad de los primeros metros, sin embargo, cuando el sujeto ya está lanzado en carrera, el rendimiento se muestra mucho más estable, no sólo por un CCI elevado, sino especialmente por la alta estabilidad intra-sujeto, expresada por un CV del

0,1%. De estos resultados se puede deducir que para la medición de la capacidad de rendimiento físico en aceleración en carrera sería más recomendable tomar como referencia distancias de 10 m a 15 m pero después de haber recorrido previamente otros 5 m o 10 m. También sería recomendable utilizar como referencia la fase lanzada para el análisis de los predictores de la propia capacidad de aceleración de los sujetos, puesto que cuanto más estable es una medida, más probable es que la relación que presente con otras variables se aproxime a la verdadera relación entre ellas.

Esta probabilidad parece confirmarse en este mismo estudio, ya que la relación de las distintas variables con el tiempo entre 20-30 m tiende a ser superior a la que se da con los tiempos en 20 m y en 30 m, y la relación con la distancia de 20 m es inferior a las demás distancias en todos los casos.

Uno de los tests más utilizado cuando se trata de predecir el rendimiento en carreras de poca longitud ha sido el CMJ (Ugarkovic y col., 2002; Bosco y col., 1983). Los resultados de numerosos estudios encuentran relación negativa significativa entre la altura del salto y el tiempo en distancias de 5 a 40 m (Mero y col., 1981; Sleivert y Taingahue, 2004; Mero y Komi, 1987; Baker y Nance, 1999; Kukolj y col., 1999; Bret y col., 2002; Wisloff y col., 2004). En nuestro caso, las relaciones del CMJ con los tiempos oscilan entre  $r = -0,59$  y  $r = -0,65$ , todas ellas significativas ( $p < 0,01$ ), en los distintos tramos estudiados, desde 0 a 30 m (Tabla 2). Estos resultados son muy semejantes a los obtenidos por otros autores (Bret y col., 2002; Hennessy y Kilty, 2001; Wisloff y col., 2004; Young y col., 1996), que encontraron relaciones de  $r = -0,6$  a  $-0,66$  entre el CMJ y los primeros 30 m de carrera. Sin embargo, en algún estudio no se ha encontrado relación entre 0 y 15 m (Kukolj y col., 1999). Este resultado no se ha dado en nuestro caso, pero sí que hemos observado una menor relación en la primera distancia medida, que en nuestro caso fue de 0 a 20 m. Sólo conocemos este estudio de Kukolj y col. (1999) que no haya encontrado ninguna relación entre el CMJ y los primeros metros de carrera. Estos autores simplemente consideran, como explicación a este resultado, que el rendimiento en CMJ no es un buen predictor de la carrera. Pero esto no parece lo más plausible, puesto que son muchos estudios los que encuentran resultados opuestos. En nuestro caso, la menor correlación encontrada en los primeros 20 m con respecto a los otros dos tramos, entendemos que podría venir explicada por la menor estabilidad de la medida en los primeros metros cuando se parte con salida de pie.

Tradicionalmente se ha considerado que la "fuerza explosiva" de los músculos extensores de la rodilla está fuertemente relacionada con el rendimiento en

aceleración en carrera (Mero y col., 1981; Berthion y col., 2001; Bret y col., 2002). Efectivamente, si consideramos, por una parte, que la altura conseguida en un CMJ es una expresión de la "fuerza explosiva" o capacidad de producir fuerza en la unidad de tiempo (RFD) y, por otra, que la aceleración consiste en proyectar el cuerpo desde una velocidad cero por la acción de los músculos extensores de las piernas y caderas, se puede deducir que en ambas acciones hay elementos comunes para explicar la varianza de los resultados obtenidos en cada uno de los ejercicios. Esta varianza en común es la que explica que existan determinados valores de correlación, que, en la casi totalidad de los casos, presentan valores significativos. La menor correlación obtenida en la fase inicial pensamos que efectivamente se debe a una menor estabilidad de la medida.

Se ha propuesto que la capacidad para generar una alta potencia es sinónimo de un elevado nivel de rendimiento en muchos deportes (Harman, 1993). Los tests de salto vertical se han utilizado tradicionalmente para determinar la potencia muscular de las extremidades inferiores (Bosco y Komi, 1979; Cronin y Hansen, 2005; Reilly y col., 2000). Un inconveniente para poder comparar estudios que hayan utilizado el test de saltos con cargas como posible predictor de la aceleración en carrera es la utilización de distintos procedimientos para calcular la potencia en el salto. En nuestro caso, la máxima potencia ha sido calculada como el producto de la fuerza y la velocidad. La carga con la que se alcanza la máxima potencia es aquella que permite saltar 20 cm aproximadamente (González Badillo, 2002), utilizando para el cálculo de la potencia el producto de la fuerza y la velocidad:  $P = (P_c + P_b) \times g \times \sqrt{2gh}$ , donde  $P$  es la potencia,  $P_c$  el peso corporal,  $P_b$  el peso de la barra,  $g$  la aceleración de la gravedad y  $h$  la altura del salto en metros. El inconveniente se acentúa cuando se utilizan saltos con cargas y no se explica qué representa la carga que se utiliza y, además, la carga es igual para todos los sujetos. Éste es el caso de los estudios de Cronin y Hansen, (2005) y de Young y col. (1995). En el primer caso se encontraron relaciones de  $r = -0,55$ ,  $-0,54$  y  $-0,43$  para las distancias de 5, 10 y 30 m, respectivamente, utilizando una carga común a todos los sujetos de 30 kg como sobrecarga. En el segundo caso utilizaron una carga de 19 kg y encontraron una relación de  $r = -0,74$  para una distancia de 2,5m. Los resultados obtenidos por Cronin y Hansen (2005) son similares a los nuestros ( $r = -0,54$  a  $-0,58$ ), aunque en nuestro caso la carga no fue común a todos los sujetos en términos absolutos, sino en términos relativos (carga con la que los sujetos alcanzaban su máxima potencia). Entendemos que utilizar una carga en términos relativos proporciona

una información más relevante puesto que controla la influencia del peso corporal. En el segundo caso, la distancia recorrida (2,5 m) nos parece excesivamente corta como para comparar estos resultados con los nuestros. Por otra parte, la menor fiabilidad encontrada en los primeros metros en nuestro propio estudio, podría influir en la estabilidad de los resultados en una distancia tan pequeña.

La relación encontrada en nuestro estudio puede venir explicada en parte por la variable que en mayor medida explica la capacidad de salto y la potencia, que es la producción de fuerza en la unidad de tiempo (González Badillo, datos no publicados), y que también es determinante en la aceleración y la velocidad máxima en carrera (Weyand y col., 2000; Haff y col., 1997). El hecho de que la carga que hemos utilizado como aquella que permite generar una mayor potencia ( $CMJ_{MP}$ ) –aplicando la fórmula indicada–, podría indicar que una mejora en la potencia en la capacidad de salto con  $CMJ_{MP}$  o lo que es lo mismo, un aumento de la carga con la que se puede saltar 20 cm, tendería a mejorar los tiempos en distancias cortas, aunque no podamos confirmar que exista una relación causa-efecto entre ambos tipos de rendimientos (Jiménez Reyes, 2010).

Se acepta comúnmente que la RFD o producción de fuerza en la unidad de tiempo es un factor determinante de la capacidad de *sprint*. Así, se ha propuesto que la fuerza de reacción contra el suelo es un factor determinante de la longitud de zancada y por tanto un factor limitante de la velocidad de carrera (Weyand y col., 2000). Estos mismos autores proponen que las fuerzas de reacción contra el suelo en la carrera están determinadas por la fuerza máxima y la RFD. La RFD también es considerada como una capacidad importante del sistema neuromuscular para producir fuerza rápidamente y está relacionada con el rendimiento en velocidad (Hakkinen y col., 1986; Katartzi y col., 2005; Papadopoulos y col., 1997; Hoff y col., 2002; Schmitzbleicher, 1992). No obstante, no hemos encontrado ningún estudio en el que se haya analizado la relación entre la  $RFD_{máx}$  medida en un SJ y la capacidad de *sprint*. Nuestros resultados no permiten confirmar las anteriores afirmaciones, puesto que la  $RFD_{máx}$  medida con un SJ presenta una relación bastante baja con los tramos de 20 m ( $r = -0,13$ ) y 30 m ( $r = -0,21$ ), y una relación baja pero significativa ( $r = -0,35$ ;  $p < 0,05$ ) con el tramo entre 20 y 30 m. La tendencia del valor de las correlaciones se corresponde con el grado de estabilidad de los distintos tramos, que, como hemos indicado, es mayor entre 20 y 30 m, mientras que la menor se da en 20 m. 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 contribuir también a explicar en parte la mayor correlación entre la  $RFD_{máx}$  y el tiempo en el tramo entre 20 y 30 m.

Probablemente, la no confirmación de una relación importante entre ambas variables pueda deberse a la distinta forma en que se ha medido la RFD. En la mayoría de los estudios la RFD se mide en acción estática, mientras que en nuestro caso se ha medido en acción dinámica. El hecho de que en nuestro caso se haya medido de manera dinámica, debería presentar una relación mayor que cuando se mide en acciones estáticas, dado que se ha observado que la medición de la fuerza estáticamente presenta menor relación con la velocidad que las mediciones de fuerza realizadas en acción dinámica (Wilson y col., 1996; Abernethy y col., 1995; Baker y col., 1994; Murphy y col., 1995; Murphy y Wilson, 1996). Otra posible explicación a la escasa relación puede estar en el CV relativamente elevado (10,1%) encontrado al estudiar la estabilidad de la medida de la  $RFD_{máx}$  en este ejercicio. Por tanto, es probable que la  $RFD_{máx}$  medida en un SJ, y probablemente a través de otro procedimiento, no sea un buen predictor de la aceleración. Sin embargo, dadas las características comunes de las que depende la producción de fuerza en la unidad de tiempo tanto en un salto como en una aceleración en carrera, la falta de una relación suficiente podría deberse a cuestiones relacionadas con la propia medición, más que a una ausencia real de elementos comunes en ambos tipos de rendimiento. Es evidente que la aceleración con la que se desplaza una carga (o un mismo sujeto cuando inicia una carrera) depende de la fuerza aplicada y del tiempo invertido en aplicarla, de tal manera que cuanto mayor sea la fuerza aplicada y menor el tiempo necesitado para ello, mayor será la RFD, la velocidad y, naturalmente, la aceleración. Por tanto, no podemos afirmar que la RFD no tenga relación con la aceleración en carrera, pero sí que la  $RFD_{máx}$  medida en SJ no explica suficientemente la capacidad de aceleración.

### Conclusiones y aplicaciones prácticas

- El tiempo en distancias lanzadas (en nuestro caso el tramo de 20 a 30 m) es más fiable que el tiempo en el tramo total o el inicial y, por tanto, es la mejor referencia para comprobar la evolución del rendimiento.
- Aunque la  $RFD_{máx}$  medida en SJ no explica suficientemente la capacidad de aceleración, una mejora de la capacidad de salto con la carga con la que se alcanza la máxima potencia, o lo que es lo mismo,

un aumento de la carga con la que se puede saltar aproximadamente 20 cm, puede venir acompañada de una mejora de los tiempos en distancias cortas.

- La alta estabilidad de la medida en el tramo lanzado y el hecho de que la fuerza máxima de las piernas explique más del 42% de la varianza de la velocidad en dicho tramo, pone de manifiesto la alta importancia

que tiene la fuerza de piernas en la aceleración en carrera. Por tanto, es necesario mejorar en la mayor medida posible la estabilidad en la medida de los primeros metros. Y como aplicación práctica surge que el control de los cambios producidos por el entrenamiento en la velocidad en la fase de aceleración debería evaluarse en un tramo lanzado.

## BIBLIOGRAFÍA

- Abernethy, P., Wilson, G., & Logan, P. (1995). Strength and power assessment: issues, controversies and challenges. *Sports medicine*, 19(6), 401-417.
- Alcaraz, P.E., Elvira, J.L.L & Palao, J.M. (2009). Características y efectos de los métodos resistidos en el sprint. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 12(5), Vol. 4: 179-187.
- Baker, D; Wilson, G & Carlyon B. (1994). Generality versus specificity, a comparison of dynamic and isometric measures of strength and speed strength. *Eur.J. Appl. Physiol.* 68: 350-355.
- Baker, D. & Nance, S (1999). The Relation Between Running Speed and Measures of Strength and Power in Professional Rugby League Players. *J. Strength and Cond. Res.* 13(3): 230-235.
- Berthion, S., Dupont, G., Mary, P. and Gerbeaux, M (2001). Predicting sprint kinematic parameters from anaerobic field tests in physical education students. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 15, 75-80.
- Bosco, C., Luhtanen, P. & Komi, P.V. (1983) A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur. J. App. Physiol.* 50:273-282.
- Bret, C; Rahmani, A; Dufour, AB; Messonnier, L; Lacour, JR (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100m sprint running. *J Sports Med Phys Fitness.* Sep; 42(3): 274-81.
- Cronin J.B. & Hansen K.T. Strength and Power Predictors of Sports Speed. *Journal of Strength and Conditioning Research*; 19(2): 349-357. 2005.
- Dowson, M.N., Nevill, M.E., Lakomy, A.M., Nevill, A.M., & Hazeldine R.J. (1998) Modeling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *J. Sports Sci.*, 16, 257-265.
- Driss, TH., Vandewalle H. & Monod H (1998). Maximal power and force velocity relationships during cycling and cranking exercises inn volleyball players: correlation with vertical jump test. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 37:175-181.
- González-Badillo, J.J. (2000) Bases teóricas y experimentales para la aplicación del entrenamiento de fuerza al entrenamiento deportivo. *Infocoes.* 5(2): 3-14.
- González-Badillo, J.J. y Ribas, J. (2002) *Bases de la programación del entrenamiento de fuerza.* Barcelona: INDE.
- Haff, G; Stone, G; O'bryant, MH; Harman, HS; Dinan, E; Johnson, C; Han, R (1997). Force-Time dependent characteristics of dynamic and isometric muscle actions. *Journal of Strength and Conditioning Research* 11: 269-272.
- Hakkinen, K; Komi, P.V. & Kauhanen, 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.
- Harman, E (1993). Strength and power: A definition of terms. *Nat. Strength Cond. Assoc. J.* 15:18-20.
- Hatze, H (1998). "Validity and reliability of methods for testing vertical jumping performance" *J. of Applied Biomechanics*, 14, 127-140.
- Hennessy, L And Kilty, M (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J. Strength Cond. Res.* 15(3): 326-331.
- Hoff, J; Wisloff, U & Engen, LC. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med*; 36:218-21.
- Jiménez Reyes, Pedro (2010). Tesis doctoral: Relación entre la fuerza, la potencia, la carga de entrenamiento y el rendimiento deportivo en velocistas de nivel nacional e internacional. Director: Juan José González Badillo. Universidad Pablo de Olavide.
- Katartzi, E; Gantiraga, E; Komsis, G & Papadopoulos, C (2005). The relationship between specific strength components of lower limbs and vertical jumping ability in school-aged children. *Journal of Human Movement Studies* 48: 227-243.
- Kawamori, N and Haff, GG (2004). The optimal training load for the development of muscular power. *J. Strength Cond. Res.* 18(3): 675-684.
- Kukolj, M., Ropret, R., Ugarkovic, D. and Jaric, S (1999). Anthropometric, strength, and power predictors of sprinting performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness.* 39:120-122.
- Mero, A., and P.V. Komi. (1987). Electromyographic activity in sprinting at speeds ranking from submaximal to supramaximal. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19:266-274.
- Mero, A., Luthanen, P., Viitasalo; J.T. and Komi, P.V. (1981). Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristics, force production and force relaxation of sprinters. *Scand. J. Sports Sci.* 3:16-22.
- Murphy, A; Wilson, G; Pryor, J and Newton R. (1995). Isometric assessment of muscular function: the effect of joint angle. *J. Appl. Biomechanics.* 11: 205-215.
- Murphy, A.J; Wilson, G.J. (1996). Poor correlations between isometric tests and dynamic performance: relationship to muscle activation. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73: 353-357.
- Nesser, T.W., R.W. Latin, K. Berg and E. Prentice. (1996) Physiological determinants of 40-meter sprint performance in young male athletes. *J. Strength Cond. Res.* 10:263-67.
- Papadopoulos, C., Salonikidis, K. & Schmidtbleicher, D. (1997). Diagnose und Auswertung der motorischen Fähigkeiten Kraft und Schnelligkeit bei Kindern im Alter zwischen 10 bis 15 Jahren. *Leistungssport* 6: 26-30.
- Reilly, T., Bangbo, J and Franks, A (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci*;18:669-83.
- Sleivert, G. and Taingahue, M. (2004). The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *Eur J Appl Physiol*; 91: 46-52.
- Schmidtbleicher, D. (1992). Training for power events, en P. Komi (ed.) *Strength and power in sport.* London, Blackwell: 381-395.
- Ugarkovic, D., Matavulj, D., Kukolj, M. & Jaric, S. (2002) Standard Anthropometric, Body Composition, and Strength Variables as Predictors of Jumping Performance in Elite Junior Athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, pp. 4.
- Vandewalle, H., Peres, G. y Monod, H. (1987). Standard anaerobic exercise tests. *Sports Med* 4, 268-289.
- Weyand, Pg., Sternlight, Db., Bellizi, M.J. and Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J. Appl. Physiol.* 89:1991-1999.
- Wilson, G.J., Newton, Murphy, A. and Humphries, B. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 23:1279-1286.
- Wilson, G.J; Murphy, A.J; Walshe, A (1996). The specificity of strength training: the effect of posture. *Eur. J. Appl. Physiol.* 73: 346-352.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R. and Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med.*; 38(3): 285-8.
- Young, W.; Hawken, M. and Mcdonald, L. (1996). Relationships between speed, agility and strength qualities in Australian Rules football. *Strength Cond. Coach.* 4:3-6.7