

# Caracterización del tiempo de vuelo en relación con variables biomecánicas del tirón en la arrancada de halterofilia

*Characterisation of Flight Time in Relation to Biomechanical Variables in the Pull at the Start of Weightlifting*

**JUAN JOSÉ ANDÚJAR GUTIÉRREZ**

Federación Catalana de Halterofilia (España)

**JOSÉ LUIS LÓPEZ DEL AMO**

Universidad de Vic (España)

**MICHEL MARINA EVRARD**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya - Centro de Barcelona (España)

**Correspondencia con autor**

Juan José Andújar Gutiérrez

[jjandujar@hotmail.com](mailto:jjandujar@hotmail.com)

## Resumen

El objeto del presente estudio es caracterizar el tiempo de vuelo (Tv) de la fase aérea en el ejercicio de arrancada en halterofilia. Se describe su comportamiento en función del incremento progresivo de la carga y en relación con variables biomecánicas del tirón, así como su evolución en un ciclo de entrenamiento. Se realizó un test máximo de cargas progresivas con siete halterófilos ( $n = 7$ ) de competición. Mediante los sistemas de valoración Muscledab y Chronojump se registraron los valores de: fuerza (F), potencia (P), velocidad (V), pico de velocidad (pV) y altura relativa ( $H_{rel}$ ) de la barra en el tirón, junto al Tv del desplazamiento de los pies del levantador en la entrada bajo la barra. Se observó una moderada correlación negativa ( $r = -0,561$ ;  $p < 0,01$ ) entre el Tv y la carga máxima del test ( $\%1RM_T$ ). No se encontraron correlaciones significativas para el Tv respecto al resto de variables analizadas. El Tv disminuía con el incremento de la carga en rangos submáximos, siendo de naturaleza aleatoria con el empleo de cargas máximas. En un subgrupo de la muestra ( $n = 4$ ) se valoraron las mismas variables transcurridas ocho semanas. El Tv, la  $P_{max}$  y el pV sugieren ser variables suficientemente sensibles para monitorizar los cambios generados por el entrenamiento en ocho semanas, aunque el reducido tamaño muestral no permitió alcanzar diferencias significativas. Estos resultados destacan la posibilidad de considerar el Tv y la P como medidas de control en el entrenamiento de halterófilos, preferentemente en el uso de cargas submáximas.

**Palabras clave:** halterofilia, arrancada, biomecánica, tiempo de vuelo, potencia

## Abstract

### *Characterisation of Flight Time in Relation to Biomechanical Variables in the Pull at the Start of Weightlifting*

*The purpose of this study is to describe the flight time (Ft) of the aerial phase in the snatch exercise in weightlifting. Behaviour is described based on the progressive increase in the load and in relation to biomechanical variables for the pull and its evolution in a training cycle. A maximum progressive load test with seven competition lifters ( $n = 7$ ) was performed. The Muscledab and Chronojump scoring systems were used to record values for strength (S), power (P), velocity (V), peak velocity (pV) and relative height (Hrel) of the bar on the pull, together with the Ft of displacement of the lifter's feet when entering under the bar. Moderate negative correlation ( $r = -0.561$ ;  $p < 0.01$ ) was observed between Ft and the maximum test load ( $\%1RMT$ ). No significant correlations for Ft with respect to the other variables examined were found. Ft decreased with increasing load in submaximal ranks and was random with the use of maximum loads. In a subset of the sample ( $n = 4$ ) the same variables were evaluated after eight weeks. Ft,  $P_{max}$  and pV seem to be sufficiently sensitive variables to monitor changes generated by training over eight weeks, although the small sample size did not make it possible to achieve significant differences. These results highlight the possibility of considering Ft and P as control measures in the training of weightlifters, preferably using submaximal loads.*

**Keywords:** weightlifting, snatch, biomechanics, flight time, power

## Introducción

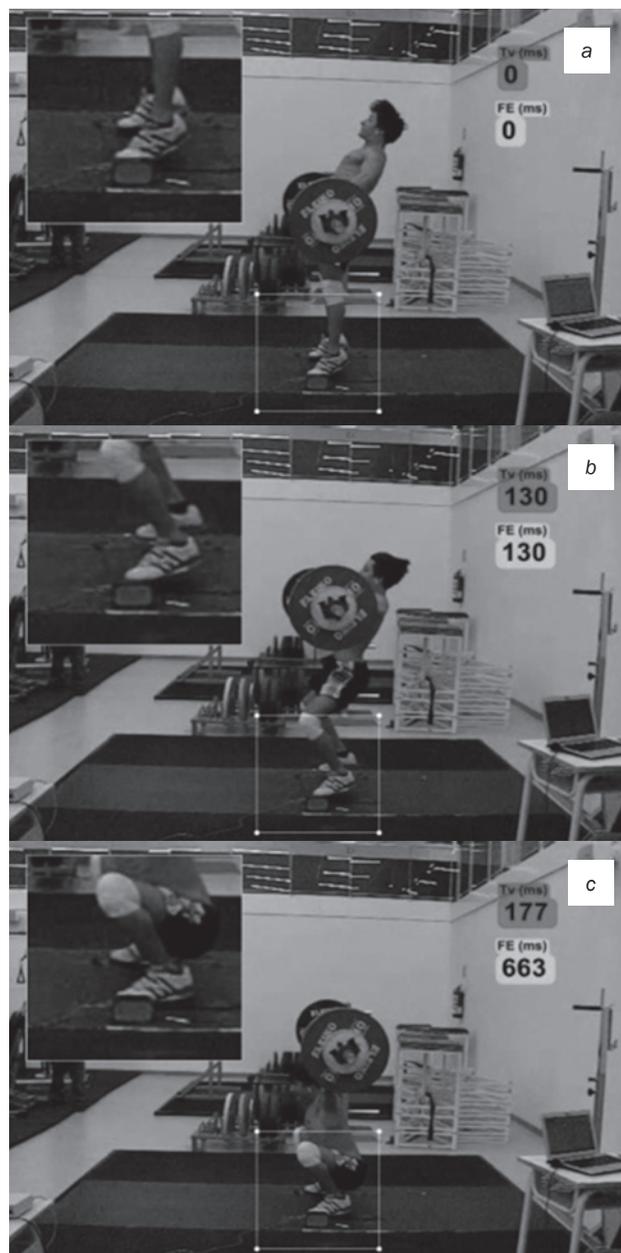
El conocimiento de la estructura biomecánica de la arrancada y del dos tiempos constituye un problema central en la halterofilia. Con el fin de optimizar los procesos de cuantificación de la carga y control de la intensidad en el entrenamiento, se han estudiado extensamente las características cinemáticas y dinámicas de los levantamientos olímpicos (Chiu, Wang, & Cheng, 2010; Garhammer, 1985; Gourgoulis, Aggelousis, Mavromatis, & Garas, 2000; Hiskia, 1997; Hoover, Carlson, Christensen, & Zebas, 2006; Isaka, Okada, Funato, 1996; Okada, Iijima, Fukunaga, Kikuchi, & Kato, 2008; Schilling, Stone, O'Bryant, Fry, Coglianesi, & Pierce, 2002).

En los últimos años, se ha producido una gran evolución en los sistemas integrados de valoración aplicados a la halterofilia, lo que ha posibilitado un gran avance en la monitorización del rendimiento en tiempo real en las sesiones de entrenamiento y un mejor conocimiento de los levantamientos en competición (Bruenger, Smith, Sands, & Leigh, 2007; Moon & Lee, 2003; Sato, Smith, & Sands, 2009). Sin embargo, el entrenador medio tiene un acceso limitado a la utilización de estos sistemas modernos debido al elevado coste, temporal y económico. No obstante, se están proponiendo sistemas de medición que emplean *software* libre y *hardware* abierto (De Blas, Padullés, López del Amo, & Guerra-Balic, 2012). Estos sistemas facilitan el acceso a la evaluación biomecánica del gesto deportivo a través de instrumentos como el Chronojump - Boscosystem (De Blas, 2012). Este sistema permite la valoración del salto mediante una plataforma de contactos.

Una variable que presenta un gran potencial para su medición mediante este instrumento es el tiempo de vuelo (Tv) en el desplazamiento de los pies durante la fase de entrada de los ejercicios de halterofilia. Aunque la estructura biomecánica de los levantamientos es bien conocida (Baumann, Gross, Quade, Galbierz, & Schwirtz, 1988; Kauhanen, Häkkinen, & Komi, 1984), y se asume la naturaleza multifactorial de las variables que determinan el éxito en el levantamiento (Stone, O'Bryant, Williams, Pierce, & Johnson, 1998), existen parámetros cuya caracterización no ha sido aún bien definida. Uno de estos parámetros es precisamente el Tv.

El modelo técnico de la arrancada se ha definido a partir del modelo original propuesto por Lukashv (1972) y revisado por diferentes autores (Urso, 2014). Este modelo estructura el levantamiento en diferentes períodos y fases para su análisis. En la arrancada, el levantador completa las diferentes fases que definen el tirón de la barra antes de iniciar el desplazamiento de su cuerpo bajo la barra en la denominada fase de entrada

(FE). Esta fase de entrada se compone de una fase aérea, donde el levantador pierde el apoyo de los pies en el suelo debido al impulso generado en el tirón, seguida a continuación de una fase de recepción de la barra en el que recupera el apoyo de los pies en el suelo (*fig. 1*).



**Figura 1.** a) Posición final del tirón en la arrancada; b) Fase aérea en la que los pies del levantador pierden el contacto con el suelo para recolocarse en la fase de entrada (FE); c) Fase de apoyo en la entrada para la recepción de la barra. En las tres, en la parte superior izquierda se muestra una imagen ampliada de los pies del levantador y, a la derecha, la duración de la fase aérea (Tv) respecto al total de la FE en ms para un levantamiento del estudio

Esta fase aérea genera un tiempo de vuelo (Tv) susceptible de ser medido mediante una plataforma de contactos.

En la bibliografía, se encuentran datos contradictorios acerca del comportamiento del Tv ante el incremento progresivo de la carga. Por un lado, Ilyin, Livanov, & Falameev (1978) observaron que el tiempo de vuelo era constante en levantadores de élite entre niveles de carga del 75-95 %, mientras que levantadores de menor nivel presentaban un incremento temporal progresivo tras exceder el 85 % de la carga máxima. Por otro, Häkkinen, Kauhanen y Komi (1984) hallaron que la duración media de la entrada en la arrancada y la cargada incrementaba con el aumento de la carga entre el 70 y el 100 % 1RM. No obstante, el amplio rango de variabilidad del Tv observado por los dos estudios anteriores sugiere prudencia a la hora de pronosticar una evolución consistente del Tv con el aumento de la carga. La duración media oscila entre los 0,135-0,380 s en la arrancada y los 0,070-0,300 s en la cargada (Garhammer, 1985; Häkkinen et al, 1984; Ilyin et al, 1978; Roman & Shakirzyanov, 1981, 1982; Roman & Treskov, 1983). Todos estos trabajos emplearon el análisis cinematográfico o la plataforma de fuerza en su método.

Este estudio abarca tres objetivos: 1) caracterizar el tiempo de vuelo (Tv) en la fase aérea de la arrancada ante el incremento progresivo de la carga mediante una plataforma de contactos y el sistema Chronojump, 2) analizar la relación del Tv con diversos parámetros biomecánicos clave del tirón, y 3) estudiar la evolución del Tv en un ciclo de entrenamiento de ocho semanas.

## Métodos

### Diseño experimental

Se siguieron dos estrategias de agrupación de la muestra en función de los objetivos del estudio.

En una primera valoración, mediante un diseño transversal, se registraron los valores del Tv y diversas variables dinámicas y cinemáticas en la arrancada. Esta valoración se realizó al final del primer período preparatorio de la temporada con un grupo de siete halterófilos de competición, cuyo análisis permitió la caracterización del Tv y el análisis de su relación con el resto de parámetros.

Posteriormente, se pudo realizar un seguimiento longitudinal con una segunda valoración a cuatro de estos levantadores para examinar los potenciales cambios del

Tv transcurridas ocho semanas. Esta segunda observación fue realizada durante el primer período competitivo de la temporada, justo entre las dos competiciones principales. En este análisis se empleó un diseño pre-post con el mismo protocolo de test y la misma medición de variables de la primera observación, aplicado a un grupo reducido de levantadores de la muestra inicial. Durante este período de ocho semanas los halterófilos realizaron su entrenamiento habitual. Estos datos se utilizaron para estudiar los cambios del Tv y su relación con el resto de variables en un ciclo de entrenamiento.

## Sujetos

Siete halterófilos masculinos pertenecientes al grupo de tecnificación de la Federación Catalana de Halterofilia (FCH) participaron en el estudio. Los levantadores formaban parte del grupo estable de entrenamiento asentado en el Centro de Alto Rendimiento (CAR) de Sant Cugat del Vallès. Un subgrupo de cuatro levantadores de esta muestra inicial realizó una segunda valoración (postest) tras un período de ocho semanas. Los test se realizaron en el CAR de Sant Cugat del Vallès.

Los sujetos participan de manera regular en las competiciones organizadas por la Federación Española de Halterofilia (FEH) en categorías júnior y sénior a nivel estatal. Las características del grupo ( $n = 7$ ) al inicio del estudio eran: edad =  $21,57 \pm 5,03$  años; talla =  $1,70 \pm 0,06$  m; peso =  $70,71 \pm 10,18$  kg. Los sujetos competían en diferentes categorías de peso (desde 56 a +105 kg) y contaban con una experiencia en el entrenamiento de  $8,43 \pm 5,00$  años. Todos los participantes dieron su consentimiento informado de acuerdo a las normas éticas de la declaración de Helsinki (World Medical Association, 1964).

Previo a la realización de los test de valoración, cada sujeto completó un cuestionario donde se detallaba su historial competitivo y la experiencia en el entrenamiento. Una vez completado, sus entrenadores procedieron a su verificación. Este método para la valoración de marcas ha sido previamente utilizado y aceptado (Fry, Ciroslan, Fry, LeRoux, & Schilling, 2006). Las marcas personales fueron corregidas por el peso corporal mediante la fórmula de Sinclair (Sinclair, 1985), de acuerdo a los baremos establecidos por la International Weightlifting Federation (IWF) para el ciclo olímpico 2013-16.

La información descriptiva del nivel de rendimiento y características del grupo se muestran en la *tabla 1*.

Las características del subgrupo pre-post se muestran en la *tabla 2*.

### Variables e instrumentos

Se utilizaron los siguientes instrumentos para la recogida de datos en los test:

- Para la medición de la variable  $T_v$ , se utilizó el sistema Chronojump – BoscoSystem (De Blas, 2012) compuesto de plataforma de contactos, microcontrolador Chronopic y el *software* libre Chronojump.
- Para la medición de las variables biomecánicas durante la fase del tirón, se utilizó el sistema MuscleLab – BoscoSystem (Musclelab 6000, Ergotes-tInnovation AS, Porsgrunn, Norway), conectados a la plataforma de contactos y un codificador lineal respectivamente.
- Los levantamientos fueron filmados a alta velocidad ( $300 \text{ frames} \cdot \text{s}^{-1}$ ) con una cámara Casio Exilim EX-F1. Las filmaciones fueron analizadas en 2D usando el *software* libre Kinovea (0.8.15; GPL-v2license).

Se fijó la plataforma de contactos sobre la tarima de levantamiento para registrar los tiempos de vuelo correspondientes a la fase aérea entre la finalización del tirón y la entrada bajo la barra. El codificador se situó bajo la barra entre los discos, justo en su proyección vertical, para registrar los valores medios de potencia (P) y fuerza (F) durante el tirón, el pico de velocidad (pV) al final del tirón, y la altura máxima (H) alcanzada por la barra en el tirón.

La cámara digital se colocó lateralmente al sujeto para visionar el plano sagital del levantamiento. La altura del objetivo de dicha cámara se ajustó a través de un trípode a 1,5 m de altura y a una distancia de 5 m del centro de la barra, formando un ángulo de  $90^\circ$  respecto al plano sagital del levantador. Los intentos nulos fueron descartados para el análisis. La disposición de los instrumentos usados en el test puede observarse en la *figura 2*.

### Procedimientos

La valoración consistió en un test máximo de cargas progresivas durante una sesión de entrenamiento. Después de un calentamiento específico de dicha modalidad, cada levantador realizó un test máximo de arrancada.

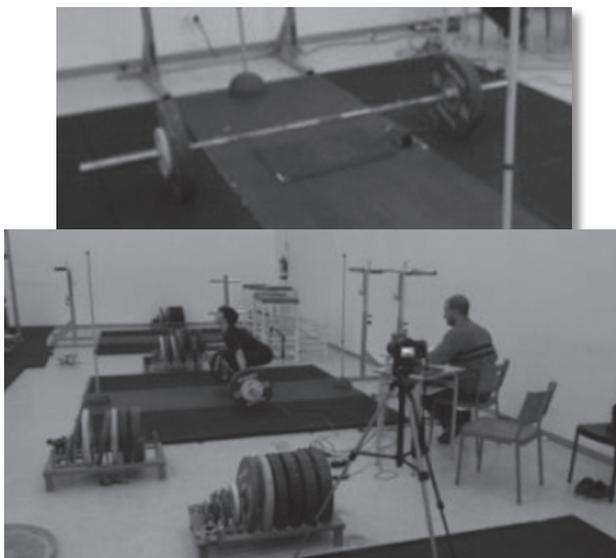
	Media	DE
Edad	21,57	5,50
Peso (kg)	70,71	10,18
Altura (m)	1,70	0,06
Experiencia (años)	8,43	5,00
Arr1RM <sub>c</sub> (kg)	106,21	12,03
DT1RM <sub>c</sub> (kg)	129,79	17,09
Puntuación Sinclair	314,99	20,19

Arr1RM<sub>c</sub>: mejor marca personal en competición en arrancada; DT1RM<sub>c</sub>: mejor marca personal en competición en dos tiempos.

**Tabla 1.** Características descriptivas de la muestra inicial (n=7) y variables de rendimiento

	Media	DE
Edad	19,25	3,77
Peso (kg)	67,25	12,66
Altura (m)	1,68	0,07
Experiencia (años)	7,13	3,01
Arr1RM <sub>c</sub> (kg)	102,25	10,05
DT1RM <sub>c</sub> (kg)	121,00	14,31
Puntuación Sinclair	309,47	13,71

**Tabla 2.** Características descriptivas y variables de rendimiento en el subgrupo con seguimiento pre-post (n=4)



**Figura 2.** En la imagen superior, puede apreciarse la disposición de la plataforma de contactos y el codificador bajo la barra en la plataforma de levantamiento. En la inferior, la colocación de la cámara de alta velocidad respecto al levantador y la plataforma de levantamiento

El procedimiento del test fue una modificación del propuesto por Häkkinen et al (1984), consistente en la realización de un levantamiento único a partir de una carga aproximada del 75 % de la mejor marca de la temporada competitiva actual del levantador ( $1RM_C$ ). La carga se incrementó gradualmente a intervalos aproximados del 5 %. En caso de intento fallido, se permitió un segundo levantamiento con la misma carga. El test finalizaba después de dos intentos nulos sobre la misma carga o cuando el levantador declinaba el intento. El último levantamiento válido era considerado como la repetición máxima para el test ( $1RMT$ ) y el resto de cargas se determinaban porcentualmente en relación con dicha carga ( $\%1RMT$ ).

La mejor marca personal del levantador en arrancada obtenida en competición ( $1RM_C$ ) se normalizó respecto a la obtenida en el test ( $1RM_T$ ), expresándose su diferencia en porcentajes ( $\%Dif\ C-T$ ). A través de dicha normalización se cuantificaba el grado de esfuerzo del sujeto en el test ( $1RM_T$ ) respecto a la marca conseguida en competición ( $1RM_C$ ). Estudios anteriores (Zatsiorsky & Kraemer, 2006) sugieren diferencias entre la  $1RM_C$  y la  $1RM_T$  de aproximadamente un  $12,5 \pm 2,5\%$  a favor de la  $1RM_C$ . Además, la  $1RM_T$  suele fluctuar en función de la sesión y el período de entrenamiento (Spassov, 1989).

### Análisis estadístico

Cuarenta y un levantamientos ( $N = 41$ ) de siete sujetos ( $n = 7$ ) fueron analizados en el primer test mediante el paquete estadístico SPSS (SPSS Statistics 21.0, IBM, New York, USA) y la hoja de cálculo Microsoft Excel (Excel 14.0, Office 2010, Microsoft, Washington, USA).

Para la caracterización del Tv y del resto de variables (P, F, pV, H) se utilizaron los siguientes valores estadísticos: medias, desviaciones estándar, valores máximo y mínimo de P y Tv dentro de la serie de cargas de cada levantador, además de la carga con la que fueron obtenidos estos valores. La altura máxima alcanzada por la barra en el tirón fue normalizada y expresada porcentualmente según la altura corporal del levantador ( $H_{rel}$ ).

Para el análisis de la relación entre el Tv y las variables consideradas en el presente estudio, se empleó el coeficiente de correlación de Pearson ( $r$ ) y el modelo de regresión simple. La distribución normal de la muestra (número de levantamientos,  $N = 41$ ), en cada una de las variables de análisis, se verificó mediante la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Duran-

te el análisis de regresión se comprobó la homocedasticidad de las variables mediante la prueba de Levene. La variable Tv difería de la distribución normal presentando una asimetría positiva, por lo que se realizó una transformación logarítmica (Zar, 1999) para cumplir con los supuestos de normalidad en el uso de pruebas paramétricas.

Para estudiar el potencial incremento de las variables al cabo de ocho semanas, se analizaron un total de cuarenta y cinco levantamientos ( $N = 45$ ) pertenecientes a cuatro sujetos ( $n = 4$ ), repartidos entre 23 levantamientos correspondientes al pretest realizado en el período preparatorio, y 22 correspondientes al posttest en el período competitivo. Para la comparación de medias en el subgrupo entre el pretest y el posttest, se utilizó la prueba de Wilcoxon para datos emparejados. Tanto la variable Tv como sus transformadas no se ajustaban a la distribución normal, por lo que se utilizó la citada prueba no paramétrica. El nivel de significación se estableció en  $p \leq 0,05$ .

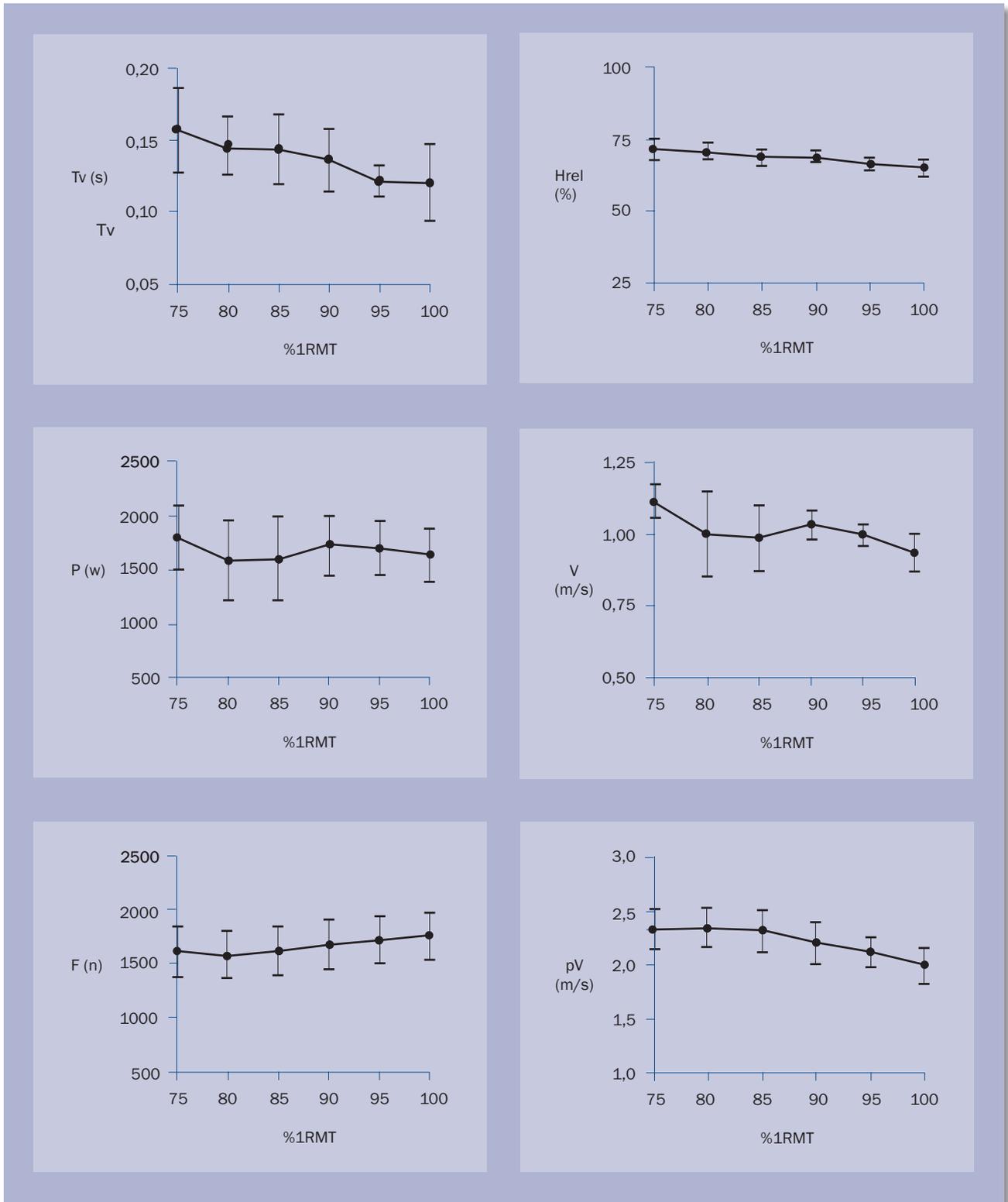
### Resultados

En el test inicial, la carga máxima de entrenamiento ( $1RM_T$ ) obtenida por los sujetos ( $n = 7$ ) fue de  $94,29 \pm 12,72$  kg, presentando una diferencia respecto a su mejor marca en competición ( $\%Dif\ C-T$ ) de  $-11,25 \pm 6,38\%$ . El menor tiempo de vuelo ( $Tv_{min}$ ) fue de  $0,108 \pm 0,015$  s, obtenido con una carga del  $92,02 \pm 11,14\%$   $1RM_T$ . El pico de potencia media ( $P_{máx}$ ) fue de  $1791,31 \pm 337,26$  W obtenido con una carga del  $87,30 \pm 9,43\%$   $1RM_T$ .

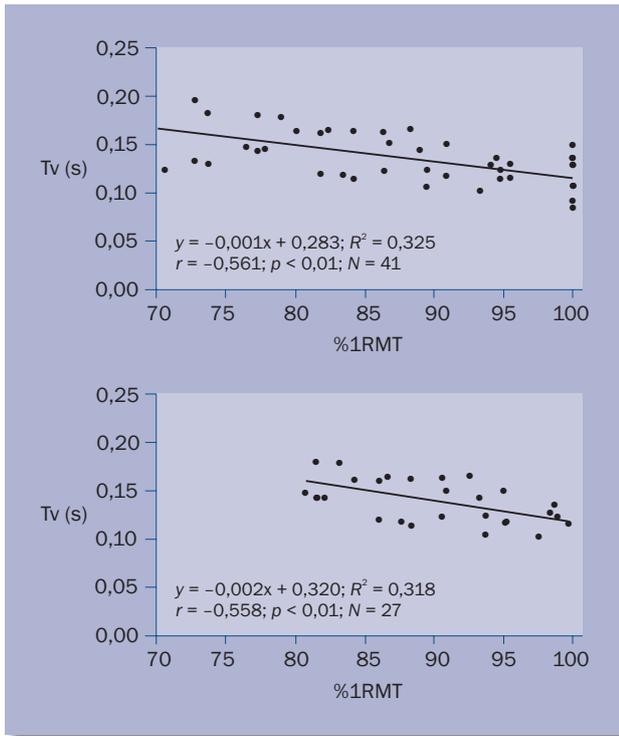
En la *figura 3* se detallan los cambios de las variables Tv, P, F, V, pV y  $H_{rel}$  durante la realización del tirón a medida que aumenta la carga, hasta llegar a los valores máximos de esta.

Se observó una moderada correlación negativa ( $r = -0,561$ ;  $p < 0,01$ ) entre el tiempo de vuelo (Tv) y la carga ( $\%1RM_T$ ) en la arrancada (*fig. 4A*). Para cargas entre el 75 y el 95 % de  $1RM_T$  (*fig. 4B*) esta relación era similar ( $r = -0,558$ ;  $p < 0,01$ ). Las ecuaciones de regresión lineal se muestran en la *figura 4*, cuyo coeficiente de determinación sugiere una débil relación de ajuste al modelo.

No se encontraron correlaciones significativas entre el Tv y el resto de variables analizadas (*tabla 3*). Se observaron elevadas correlaciones positivas significativas entre F y P ( $r = 0,821$ ;  $p < 0,01$ ), y entre pV y  $H_{rel}$  ( $r = 0,881$ ;  $p < 0,01$ ) en el tirón.



▲  
**Figura 3.** Valores medios (media ± DE) durante el tirón de: potencia (P), fuerza (F), velocidad (V) y pico de velocidad (pV) con cargas entre el 75 y el 100 % de la carga máxima del test. Además, se detalla el comportamiento del tiempo de vuelo (Tv) y la altura máxima relativa (H<sub>rel</sub>) de la barra al final del tirón en la arrancada para el total de los sujetos (n=7) y levantamientos (N=41) analizados



**Figura 4.** (A) Arriba, relación entre el tiempo de vuelo (Tv) y la carga (%1RM<sub>T</sub>) en la arrancada para el total de los sujetos (n=7) y levantamientos (N=41) analizados. (B) Abajo, relación entre el Tv y la carga en levantamientos (N=27) entre el 75 y el 95 % 1RM<sub>T</sub>. Sobre el gráfico se muestran la ecuación de regresión lineal y el valor de R<sup>2</sup>

Para el subgrupo pre-post, las variables de rendimiento (1RM<sub>C</sub>, 1RM<sub>T</sub>, %Dif C-T) y biomecánicas (Tv, P, F, pV, H<sub>rel</sub>) obtenidas en ambos test se presentan en la tabla 4. Se consideran los valores máximos y/o mínimos para la serie de intentos del test en las variables analizadas más la carga con la que se produjeron.

Aunque el grado de implicación en el esfuerzo (%Dif C-T) fue similar en ambos test, tres sujetos realizaron intentos sobre su mejor marca de competición (1RM<sub>C</sub>) en el postest, y sólo uno empeoró su marca (1RM<sub>T</sub>) respecto al primer test. A pesar de observarse una tendencia a

	Preparatorio (pretest)		Competitivo (postest)	
	Media	DE	Media	DE
1RM <sub>C</sub> (kg)	102,25	10,05	102,25	10,05
1RM <sub>T</sub> (kg)	92,50	14,43	92,50	16,58
% Dif C-T	9,81	7,55	10,01	7,83
Tv min (s)	0,110	0,014	0,107	0,014
Tv min (%1RM <sub>T</sub> )	93,38	7,09	92,05	9,47
P <sub>máx</sub> (W)	1679,48	347,72	1705,73	257,28
P <sub>máx</sub> (%1RM <sub>T</sub> )	88,84	9,24	79,45	3,33
F <sub>máx</sub> (N)	1705,98	272,88	1702,85	301,46
pV min (m·s <sup>-1</sup> )	1,90	0,12	2,01	0,11
H <sub>rel</sub> min (%)	64,14	3,12	64,81	5,86

\* La correlación es significativa a nivel p < 0,05 (bilateral)

**Tabla 4.** Variables de rendimiento y biomecánicas obtenidas en el grupo pre - post transcurridas ocho semanas. El pretest y el postest se corresponden a dos momentos diferentes del ciclo de entrenamiento durante la temporada (n=4; N=45)

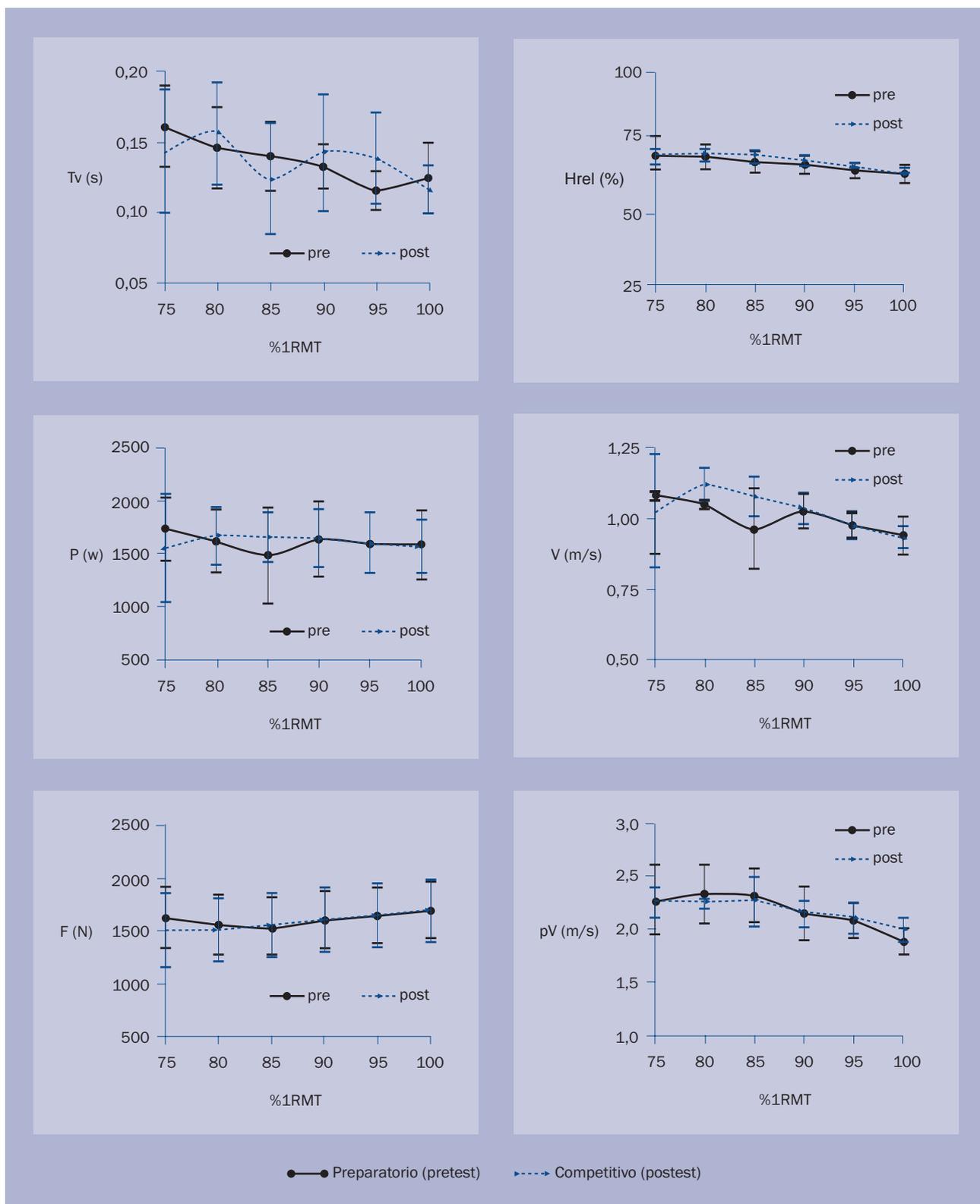
reducir el mínimo tiempo de vuelo (Tv min) e incrementar el pico de potencia máxima (P<sub>máx</sub>), no se encontraron diferencias significativas entre ambos test (p < 0,05). Además, estos picos se produjeron ante cargas más ligeras en el postest, aunque tampoco se encontraron diferencias significativas. Tampoco se hallaron diferencias importantes en los valores de fuerza máxima (F<sub>máx</sub>), pico de velocidad mínimo (pV min) y altura relativa mínima (H<sub>rel</sub> min) de la serie de intentos de cada levantador entre ambos test. Estos valores se registraron siempre durante el intento máximo para cada levantador. En este caso, pese a no hallarse diferencias significativas, puede observarse un ligero incremento del pV al final del tirón en la carga máxima aunque no ha variado la marca entre ambos test.

En la figura 5, se ofrece la evolución de las variables analizadas en función de la carga, en el grupo que realizó el pretest y el postest (análisis de los efectos del entrenamiento).

**Tabla 3.** Relación entre el Tv y las variables biomecánicas del tirón mediante el coeficiente de correlación de Pearson (r)

	Tv (s)	1RM <sub>T</sub> (%)	P (w)	F (N)	pV (m·s <sup>-1</sup> )	H <sub>rel</sub> (%)
Tv (s)	1					
1RM <sub>T</sub> (%)	-0,561**	1				
P (w)	0,186	-0,062	1			
F (N)	-0,185	0,309*	0,821**	1		
pV (m·s <sup>-1</sup> )	0,203	-0,642**	0,073	-0,096	1	
H <sub>rel</sub> (%)	0,224	-0,658**	0,375*	0,204	0,881**	1

\* La correlación es significativa a nivel p < 0,05 (bilateral); \*\* La correlación es significativa a nivel p < 0,01 (bilateral).

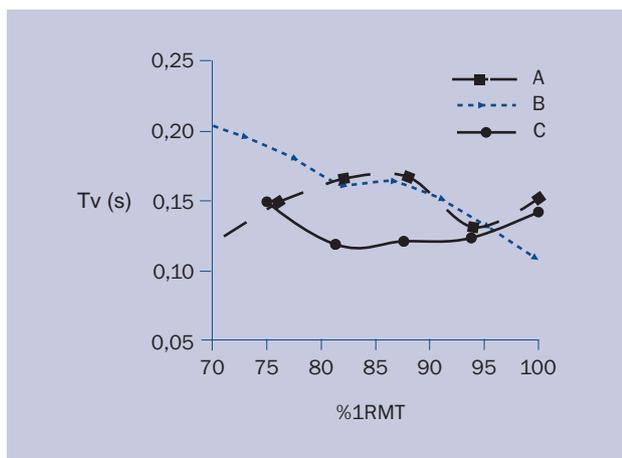


**Figura 5.** Valores medios (media ± DE) durante el tirón de: P, F, V y pV con cargas entre el 75 y el 100 % 1RM<sub>T</sub> para el grupo pre-post (n=4; N=45) durante el período preparatorio y el competitivo. Además, se detalla el comportamiento del Tv y la H<sub>rel</sub>.

## Discusión

Los resultados de esta investigación indican el alto grado de variabilidad del Tv junto a los parámetros biomecánicos P, F, pV y  $H_{rel}$  del tirón con el incremento de la carga en la arrancada. El principal hallazgo de este estudio ha sido la moderada relación inversa entre carga y Tv. Así, el Tv en el desplazamiento de los pies durante la entrada iría disminuyendo a medida que se incrementa la carga, siendo esta relación lineal significativa aunque de naturaleza moderada, probablemente debido al reducido tamaño de la muestra. En cambio, cuando la carga se incrementa, también lo hace la fuerza y disminuyen proporcionalmente la velocidad y la altura de la barra al final del tirón, localizándose sus valores pico justo en el empleo de cargas maximales. Para las variables Tv y P, los resultados del estudio sugieren que el valor mínimo del Tv sucede con cargas del 90-95 % 1RM y el máximo de potencia con cargas del 80-90 % 1RM.

Los valores promedio del Tv cercanos a los 0,150 s con cargas entre el 75 y el 95 % 1RM coinciden con los hallados en la bibliografía (Garhammer, 1985; Häkkinen et al, 1984; Ilyin et al., 1978; Roman & Shakirzhanov, 1982, 1981; Roman & Treskov, 1983), aunque este patrón de variación descendente del Tv respecto a la carga se contrapone al patrón ascendente hallado por Häkkinen et al (1984) y al constante propuesto por Ilyin et al. (1978). Häkkinen et al. (1984) concluyeron que estas diferencias pudieran deberse a la metodología utilizada, ya que contemplaban toda la fase de entrada y no solamente la fase aérea en el desplazamiento. En todo caso, sus valores medios serían muy reducidos para incluir toda la fase de entrada (inferiores a 160 ms) y tampoco



**Figura 6.** Tres patrones de variación del Tv con el incremento de la carga en tres sujetos representativos de la muestra

se detalla el nivel exacto de rendimiento del grupo considerado como élite. En el segundo estudio, Ilyin et al. (1978) proponen un comportamiento constante del Tv para cargas entre el 75-95 % de 1RM característica de levantadores de alto nivel. Como puede observarse en los resultados del presente estudio (*fig. 4*), la naturaleza de la relación Tv - %1RM no se ve alterada cuando se ajustan las condiciones de la correlación al empleo de cargas submáximas. El nivel de los levantadores de este estudio ( $314,99 \pm 20,19$  puntos Sinclair) es ligeramente superior a los del grupo élite de Ilyin et al (1978). Los valores del Tv con el empleo de cargas máximas en nuestros test parecían presentar un comportamiento aleatorio, pudiéndose apreciar patrones de variación dispares (*fig. 6*). Este hecho, explicaría el bajo grado de ajuste según el modelo de regresión simple ( $R^2 = 0,325$ ; *fig. 3*) y la pobre potencia predictiva del Tv como indicador de la intensidad del levantamiento, considerando la ausencia de asociaciones significativas respecto al resto de variables analizadas.

Es bien conocido el hecho de que el entrenamiento realizado por los halterófilos desarrolla de forma marcada las capacidades de fuerza y potencia musculares (Carlock et al., 2004; Harris, Stone, O'Bryant, Proulx, & Johnson, 2000; Stone, Byrd, Tew, & Wood, 1980), habiéndose registrado en la arrancada y en el dos tiempos los valores más altos de producción de potencia en el ámbito deportivo (Garhammer, 1980, 1991). De hecho, la potencia ha sido considerada como un factor clave en el rendimiento de la halterofilia (Garhammer, 1985). En el análisis de las relaciones de cambio entre el Tv y la potencia media en el tirón se observó que los picos de ambas variables eran asincrónicos respecto a la carga. Así, el mínimo Tv se registró con cargas del  $92,02 \pm 11,14$  %1RM<sub>T</sub>, mientras que el pico de potencia máxima se obtenía con el  $87,30 \pm 9,43$  %1RM<sub>T</sub>. No se hallaron correlaciones significativas del Tv con el pico de velocidad en el tirón (*tabla 3*). Una relación directa pV-Tv hubiese sugerido que el patrón de variación creciente de esta variable obedecía a una relación de transmisión de fuerzas en la cadena cinética del levantador. Puesto que las fuerzas ejercidas por el levantador sobre la barra son consecuencia de las ejercidas sobre el suelo y transmitidas a través de la cadena cinética del sistema levantador - barra, la velocidad de la barra es una función del impulso mecánico ejercido por el levantador en la plataforma de levantamiento. La aplicación de este impulso de fuerza proyecta al levantador hacia arriba al finalizar el segundo tirón, generando una fase aérea en el levantamiento. La velocidad inicial de impulso en este

salto es proporcional a la altura alcanzada y al tiempo de vuelo, por lo que el Tv en la fase aérea debería estar relacionado con la velocidad de la barra al final del tirón y, en consecuencia, con la carga. Sin embargo, en el presente estudio, el Tv se comportaba de manera decreciente respecto a la carga. Esta observación puede interpretarse de dos formas. La primera, que ante la menor altura alcanzada por la barra tras el tirón debido al incremento de la carga, la estrategia motora del levantador pasase por acelerar su entrada bajo la barra al disponer de menos tiempo para ello. En este caso, la acción de las extremidades superiores durante la entrada, no medida en este estudio, podría ser un factor clave en este comportamiento. Y la segunda, que la menor altura alcanzada por la barra ante cargas mayores, condicionase directamente la altura de la fase aérea del levantador y redujese así su Tv, minimizando el factor de la acción de brazos durante la entrada. Sea como fuere, la ausencia de relación significativa entre Tv y P observada en este estudio y con los datos disponibles, hace necesario un mayor nivel de análisis ya que podría resultar un factor clave en la valoración del estado de forma del levantador.

La relación P - Tv mostró cierto grado de sensibilidad a los efectos del entrenamiento en el grupo que siguió el tratamiento pre-post. Se observaron tanto una ligera reducción del mínimo Tv ( $0,110 \pm 0,014$  s a  $0,107 \pm 0,014$  s) como un incremento de la potencia máxima ( $1679,48 \pm 347,72$  W a  $1705,73 \pm 257,28$  W) en el grupo que realizó el postest. Además, estos valores se obtuvieron ante cargas más ligeras en el período competitivo, aunque no se alcanzaron diferencias significativas. También sin diferencias significativas, el pico de velocidad con la carga máxima ( $1,90 \pm 0,12$  a  $2,01 \pm 0,11$  m·s<sup>-1</sup>) aumentó ligeramente. Estos datos, sugieren unas adaptaciones hacia un perfil de mayor velocidad y potencia durante el ciclo de entrenamiento, donde la magnitud del Tv podría disminuir debido a la mayor capacidad del levantador para desplazarse bajo la barra de forma más rápida a medida que se acumulan las adaptaciones del entrenamiento. La ausencia de diferencias significativas bien pudiera deberse al reducido número de sujetos de la muestra en el seguimiento longitudinal. La hipótesis de la sensibilidad de estos factores ante el cambio en el estado de forma quedaría reforzada por la utilización de la diferencia de marcas (%Dif C-T) como medida de valoración del grado de esfuerzo en el test. Aunque los resultados fueron muy similares en el pre-test y en el postest para la  $1RM_T$  y la %Dif C-T, el valor de este último entorno al 10 % esta-

ría en consonancia con el rango de 10-12,5 % estimado por Zatsiorsky y Kraemer (2006), indicando la consistencia de estos valores y el desempeño de un esfuerzo máximo real por parte de los halterófilos de este estudio. Cabe resaltar que, como se ha señalado, tres de los sujetos del subgrupo con seguimiento longitudinal realizaron intentos sobre su mejor marca de competición en el postest. La consideración de la relación Tv - P como medida de control del proceso de entrenamiento en halterófilos merecería ser analizada con mayor profundidad.

Es importante finalizar reseñando que el reducido número de sujetos que participaron en el estudio, consecuencia de un deporte muy minoritario, no permite considerar los datos estadísticos como inferenciables. No obstante, sí creemos que el diseño metodológico utilizado para caracterizar la cinemática y la dinámica de los levantamientos en halterofilia supone una aportación relevante.

## Conclusiones

Los resultados de este estudio revelan un comportamiento descendente del Tv ante el incremento de la carga en la arrancada al emplearse cargas submáximas. A pesar de la moderada correlación inversa hallada entre el Tv y la carga, la ausencia de correlaciones significativas respecto a otras variables biomecánicas clave en el tirón, sugieren una limitación en la consideración del Tv como indicador de la intensidad general del levantamiento. Su bajo grado de ajuste al modelo de regresión también limita su papel predictivo en la relación Tv - %1RM. Además, se aprecia un carácter impredecible del Tv en el empleo de cargas máximas. Estas conclusiones deberían ser consideradas en la población de referencia del estudio, jóvenes halterófilos de un grupo de tecnificación, sugiriéndose un mayor grado de variación en el comportamiento de esta variable en levantadores noveles.

Sin embargo, en el subgrupo monitorizado durante ocho semanas, la sensibilidad mostrada tanto por el tiempo de vuelo como por la potencia ante el cambio en el estado de forma de los levantadores analizados merecería un análisis más pormenorizado para poder valorar su utilización como medida de control en el proceso de entrenamiento de halterófilos, preferentemente en el control de cargas submáximas.

## Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

## Referencias

- Baumann, W., Gross, V., Quade, K., Galbierz, P., & Schwirtz, A. (1988). The snatch technique of world class weightlifters at the 1985 World Championships. *International Journal of Sports Biomechanics*, 4(1), 68-89.
- Bruenger, A. J., Smith, S. L., Sands, W. A., & Leigh, M. R. (2007). Validation of instrumentation to monitor dynamic performance of Olympic weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 492-499.
- Carlock, J., Smith, S. L., Hartman, M., Morris, R., Ciroslan, D., Pierce, K. C., ... Stone, M. H. (2004). Relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: a field-test approach. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 534-539.
- Chiu, H. T., Wang, C. H., & Cheng, K. B. (2010). The three-dimensional kinematics of a barbell during the snatch of Taiwanese weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(6), 1520-1526. doi:10.1519/JSC.0b013e3181db23f4
- De Blas, X. (2012). *Proyecto Chronojump-Boscosystem. Herramienta informática libre para el estudio cinemático del salto vertical* (Tesis doctoral). Universitat Ramon Llull, Barcelona.
- De Blas, X., Padullés, J. M., López del Amo, J. L., & Guerra-Balic, M. (2012). Creation and validation of Chronojump-Boscosystem: a free tool to measure vertical jumps. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 30(8), 334-356. doi:10.5232/ricyde2012.03004
- Fry, A. C., Ciroslan, D., Fry, M. D., LeRoux, C. D., & Schilling, B. K. (2006). Anthropometric and performance variables discriminating elite American junior men weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 861-866.
- Garhammer, J. J. (1980). Power production by Olympic weightlifters. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 12(1), 54-60. doi:10.1249/00005768-198021000-00011
- Garhammer, J. J. (1985). Biomechanical profiles of Olympic weightlifters. *International Journal of Sports Biomechanics*, 1, 122-130.
- Garhammer, J. J. (1991). A comparison of maximal power outputs between elite male and female weightlifters in competition. *International Journal of Sports Biomechanics*, 7, 3-11.
- Gourgoulis, V., Aggelousis, N., Mavromatis, G., & Garas, A. (2000). Three-dimensional kinematic analysis of the snatch of elite Greek weightlifters. *Journal of Sports Sciences*, 18(8), 643-652. doi:10.1080/02640410050082332
- Häkkinen, K., Kauhanen, H., & Komi, P.V. (1984). Biomechanical changes in the Olympic weightlifting technique of the snatch and clean & jerk from submaximal to maximal loads. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 6, 57-66.
- Harris, G. R., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Proulx, C. M., & Johnson, R. L. (2000). Short term performance effects of high speed, high force or combined weight training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(1), 14-20.
- Hiskia, G. (1997). Biomechanical analysis on performance of world and olympic champion weightlifters. En A. Lukacsfalvi & F. Takacs (Eds.), *Proceedings of the Weightlifting Symposium - Ancient Olympia/Greece* (pp. 137-148). Budapest: International Weightlifting Federation.
- Hoover, D. L., Carlson, K. M., Christensen, B. K., & Zebas, C. J. (2006). Biomechanical analysis of women weightlifters during the snatch. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 627-633.
- Ilyin, A., Livanov, D., & Falameev, A. (1978). Duration of the nonsupport phase in the snatch and clean. En M. Yessis (Ed.), *1979 Soviet Sports Review*, 14(4), 180-181.
- Isaka, T., Okada, J., & Funato, K. (1996). Kinematic analysis of the barbell during the snatch movement of elite Asian weightlifters. *Journal of Applied Biomechanics*, 12(4), 508-516.
- Kauhanen, H., Häkkinen, K., & Komi, P. V. (1984). A biomechanical analysis of the snatch and clean & jerk techniques of Finnish elite and district level weightlifters. *Scandinavian Journal of Sports Sciences*, 6(2), 47-56.
- Lukashev, A. A. (1972). *Analysis of the Snatch Technique in elite weightlifters* (Tesis doctoral). National Central Institute of Physical Culture, Moscow.
- Moon, Y. J., & Lee, S. H. (2003). Development of a real-time weightlifting performance feedback system. *International Journal of Applied Sports Science*, 15(1), 98-106.
- Okada, J., Iijima, K., Fukunaga, T., Kikuchi, T., & Kato, K. (2008). Kinematic analysis of the snatch technique used by Japanese and international female weightlifters at the 2006 Junior World Championship. *International Journal of Sport and Health Science*, 6, 194-202. doi:10.5432/ijshs.IJSHS20080323
- Roman, R. A., & Treskov, V. V. (1983). Snatch technique of world record holder U. Zakharevich. En *1983 Weightlifting Yearbook* (pp. 15-24). Livonia, Michigan: Sportivny.
- Roman, R. A., & Shakirzyanov, M. S. (1981). Snatch technique of world record holder A. Voronin. En: *1981 Weightlifting Yearbook* (pp. 55-60). Livonia, Michigan: Sportivny.
- Roman, R. A., & Shakirzyanov, M. S. (1982). The clean and jerk technique of world record holder V. Marchuk. En *1982 Weightlifting Yearbook* (pp. 31-39). Livonia, Michigan: Sportivny.
- Sato, K., Smith, S. L., Sands, W. A. (2009). Validation of an accelerometer for measuring sport performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 341-347. doi:10.1519/JSC.0b013e3181876a01
- Schilling, B. K., Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Fry, A. C., Coglianesi, R. H., & Pierce, K. C. (2002). Snatch technique of collegiate national level weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(4), 551-555.
- Sinclair, R. G. (1985). Normalizing the performance of athletes in Olympic weightlifting. *Canadian Journal of Applied Sports Sciences*, 10(2), 94-98.
- Spassov, A. (1989). Qualities of strength and their application to sports: Part II. *Strength and Conditioning Journal*, 11(1), 60-62. doi:10.1519/0744-0049(1989)011<0060:QOSATA>2.3.CO;2
- Stone, M. H., O'Bryant, H. S., Williams, F. E., Pierce, K., & Johnson, R. L. (1998). Analysis of bar paths during the snatch in elite male weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 30-38. doi:10.1519/1073-6840(1998)020<0030:AOBPD>2.3.CO;2
- Urso, A. (2014). *Weightlifting. Sport for all sports*. Torgiano, Perugia: Calzetti-Mariucci.
- World Medical Association (1964). *Declaration of Helsinki*. Recuperado de <http://www.wma.net/>
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis* (4.ª ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2006). *Science and practice of strength training* (2.ª ed.) Champaign, IL: Human Kinetics.