

Caracterització del temps de vol en relació amb variables biomecàniques de l'estirada en l'arrencada d'halterofília

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

JUAN JOSÉ ANDÚJAR GUTIÉRREZ

Federació Catalana d'Halterofília (Espanya)

JOSÉ LUIS LÓPEZ DEL AMO

Universitat de Vic (Espanya)

MICHEL MARINA EVRARD

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya - Centre de Barcelona (Espanya)

Autor per a la correspondència

Juan José Andújar Gutiérrez

jjandujar@hotmail.com

Resum

L'objecte del present estudi és caracteritzar el temps de vol (Tv) de la fase aèria en l'exercici d'arrencada en halterofília. Es descriu el seu comportament en funció de l'increment progressiu de la càrrega i en relació a variables biomecàniques de l'estirada, així com la seva evolució en un cicle d'entrenament. Es va fer un test màxim de càrregues progressives amb set halterofilistes ($n = 7$) de competició. Mitjançant els sistemes de valoració Muscledab i Chronojump es van registrar els valors de: força (F), potència (P), velocitat (V), pic de velocitat (pV) i alçada relativa (H_{rel}) de la barra en l'estirada, al costat del Tv del desplaçament dels peus de l'aixecador a l'entrada sota la barra. Es va observar una moderada correlació negativa ($r = -0,561$; $p < 0,01$) entre el Tv i la càrrega màxima del test (%1RMT). No es van trobar correlacions significatives per al Tv respecte a la resta de variables analitzades. El Tv disminueix amb l'increment de la càrrega en rangs submàxims, i era de natura aleatòria amb l'ocupació de càrregues màximes. En un subgrup de la mostra ($n = 4$) es van valorar les mateixes variables passades vuit setmanes. El Tv, la P_{max} i el pV suggereixen ser variables suficientment sensibles per monitoritzar els canvis generats per l'entrenament en vuit setmanes, encara que la reduïda dimensió mostral no va permetre aconseguir diferències significatives. Aquests resultats destaquen la possibilitat de considerar el Tv i la P com a mesures de control en l'entrenament d'halterofilistes, preferentment en l'ús de càrregues submàximes.

Paraules clau: halterofília, arrencada, biomecànica, temps de vol, potència

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

Introducció

El coneixement de l'estructura biomecànica de l'arrencada i del dos temps constitueix un problema central en l'halterofília. A fi d'optimitzar els processos de quantificació de la càrrega i control de la intensitat en l'entrenament, s'han estudiat extensament les característiques cinemàtiques i dinàmiques dels aixecaments olímpics (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 els últims anys, s'ha produït una gran evolució en els sistemes integrats de valoració aplicats a l'halterofília. Això ha possibilitat un gran avanç en la monitorització del rendiment en temps real en les sessions d'entrenament i un millor coneixement dels aixecaments en competició (Bruenger, Smith, Sands, & Leigh, 2007; Moon & Lee, 2003; Sato, Smith, & Sands, 2009). Tanmateix, l'entrenador mitjà té un accés limitat a la utilització d'aquests mitjans moderns a causa de l'elevat cost, temporal i econòmic. No obstant, s'estan proposant sistemes de mesurament que empren programari lliure i maquinari obert (De Blas, Padullés, López del Amo, & Guerra-Balic, 2012). Aquests sistemes faciliten l'accés a l'avaluació biomecànica del gest esportiu a través d'instruments com el Chronojump - Boscosystem (De Blas, 2012). Aquest sistema permet la valoració del salt mitjançant una plataforma de contactes.

Una variable que presenta un gran potencial per al seu mesurament mitjançant aquest instrument és el temps de vol (Tv) en el desplaçament dels peus durant la fase d'entrada dels exercicis d'halterofília. Encara que l'estructura biomecànica dels aixecaments és ben coneguda (Baumann, Gross, Quade, Galbierz, & Schwartz, 1988; Kauhanen, Häkkinen, & Komi, 1984), i s'assumeix la natura multifactorial de les variables que determinen l'èxit en l'aixecament (Stone, O'Bryant, Williams, Pierce, & Johnson, 1998), hi ha paràmetres que la caracterització no ha estat encara ben definida. Un d'aquests paràmetres és precisament el Tv.

El model tècnic de l'arrencada s'ha definit a partir del model original proposat per Lukashev (1972) i revisat per diferents autors (Urso, 2014). Aquest model estructura l'aixecament en diferents períodes i fases per a la seva anàlisi. En l'arrencada, l'aixecador completa les diferents fases que defineixen l'estirada de la barra abans d'iniciar el desplaçament del cos sota la barra en la denominada fase d'entrada (FE). Aquesta fase d'entrada es compon

d'una fase aèria, on l'aixecador perd el suport dels peus en el sòl a causa de l'impuls generat en l'estirada, seguida a continuació d'una fase de recepció de la barra en què recupera el suport dels peus en el sòl (fig. 1).



Figura 1. a) Posició final de l'estirada en l'arrencada; b) Fase aèria en la que els peus de l'aixecador perden el contacte amb el sòl per recol·locar-se a la fase d'entrada; c) Fase de suport a l'entrada per a la recepció de la barra. A totes tres, a la part superior esquerra es mostra una imatge ampliada dels peus de l'aixecador i, a la dreta, la durada de la fase aèria (Tv) respecte al total de la FE en ms per a un aixecament de l'estudi

Aquesta fase aèria genera un temps de vol (Tv) susceptible de ser mesurat mitjançant una plataforma de contactes.

En la bibliografia, es troben dades contradictòries sobre el comportament del Tv davant l'increment progressiu de la càrrega. D'una banda, Ilyin, Livanov, & Falameev (1978) van observar que el temps de vol era constant en aixecadors d'elit entre nivells de càrrega del 75-95 %, mentre que aixecadors de menor nivell presentaven un increment temporal progressiu després d'excedir el 85 % de la càrrega màxima. D'altra banda, Häkkinen, Kauhanen i Komi (1984) van trobar que la durada mitjana de l'entrada en l'arrencada i la carrega incrementava amb l'augment de la càrrega entre el 70 i el 100 % 1RM. Tanmateix, l'ampli rang de variabilitat del Tv observat pels dos estudis anteriors suggereix prudència a l'hora de pronosticar una evolució consistent del Tv amb l'augment de la càrrega. La durada mitjana oscil·la entre els 0,135-0,380 s en l'arrencada i els 0,070-0,300 s en la carrega (Garhammer, 1985; Häkkinen et al. 1984; Ilyin et al. 1978; Roman & Shakirzyanov, 1981, 1982; Roman & Treskov, 1983). Tots aquests treballs van emprar l'anàlisi cinematogràfica o la plataforma de força en el seu mètode.

Aquest estudi aborda tres objectius: 1) caracteritzar el temps de vol (Tv) en la fase aèria de l'arrencada davant l'increment progressiu de la càrrega mitjançant una plataforma de contactes i el sistema Chronojump, 2) analitzar la relació del Tv amb diversos paràmetres biomecànics clau de l'estirada, i 3) estudiar l'evolució del Tv en un cicle d'entrenament de vuit setmanes

Mètodes

Disseny experimental

Es van seguir dues estratègies d'agrupació de la mostra en funció dels objectius de l'estudi.

En una primera valoració, mitjançant un disseny transversal, es van registrar els valors del Tv i diverses variables dinàmiques i cinemàtiques en l'arrencada. Aquesta valoració es va dur a terme al final del primer període preparatori de la temporada amb un grup de set halterofilistes de competició, l'anàlisi del qual va permetre la caracterització del Tv i l'anàlisi de la seva relació amb la resta de paràmetres.

Posteriorment, es va poder fer un seguiment longitudinal amb una segona valoració a quatre d'aquests aixecadors per examinar els potencials canvis del Tv,

transcorregudes vuit setmanes. Aquesta segona observació va ser feta durant el primer període competitiu de la temporada, just entre les dues competicions principals. En aquesta anàlisi es va emprar un disseny pre-post amb el mateix protocol de test i el mateix mesurament de variables de la primera observació, aplicat a un grup reduït d'aixecadors de la mostra inicial. Durant aquest període de vuit setmanes els halterofilistes van fer el seu entrenament habitual. Aquestes dades es van utilitzar per estudiar els canvis del Tv i la seva relació amb la resta de variables en un cicle d'entrenament.

Subjectes

Set halterofilistes masculins pertanyents al grup de tecnificació de la Federació Catalana d'Halterofília (FCH) van participar en l'estudi. Els aixecadors formaven part del grup estable d'entrenament assentat al Centre d'Alt Rendiment (CAR) de Sant Cugat del Vallès. Un subgrup de quatre aixecadors d'aquesta mostra inicial va fer una segona valoració (posttest) després d'un període de vuit setmanes. Els tests es van realitzar al CAR de Sant Cugat del Vallès.

Els subjectes participen de manera regular en les competicions organitzades per la Federació Espanyola d'Halterofília (FEH) en categories júnior i sènior a nivell estatal. Les característiques del grup ($n = 7$) a l'inici de l'estudi eren: edat = $21,57 \pm 5,03$ anys; talla = $1,70 \pm 0,06$ m; pes = $70,71 \pm 10,18$ kg. Els subjectes competien en diferents categories de pes (des de 56 a +105 kg) i comptaven amb una experiència en l'entrenament de $8,43 \pm 5,00$ anys. Tots els participants van donar el seu consentiment informat d'acord amb les normes ètiques de la declaració d'Hèlsinki (World Medical Association, 1964).

Abans de la realització dels tests de valoració, cada subjecte va completar un qüestionari on es detallava el seu historial competitiu i l'experiència en l'entrenament. Una vegada completat, els seus entrenadors van procedir a verificar-ho. Aquest mètode per a la valoració de marques ha estat anteriorment utilitzat i acceptat (Fry, Ciroslan, Fry, LeRoux, & Schilling, 2006). Les marques personals van ser corregides pel pes corporal mitjançant la fórmula de Sinclair (Sinclair, 1985), d'acord amb els barems establerts per la International Weightlifting Federation (IWF) per al cicle olímpic 2013-16.

La informació descriptiva del nivell de rendiment i característiques del grup es mostren a la *taula 1*.

Les característiques del subgrup pre-post es mostren a la *taula 2*.

Variables i instruments

Es van utilitzar els instruments següents per a la recollida de dades en els tests:

- Per al mesurament de la variable T_v , es va utilitzar el sistema Chronojump – BoscoSystem (De Blas, 2012) compost de plataforma de contactes, microcontrolador Chronopic i el programari lliure Chronojump.
- Per al mesurament de les variables biomecàniques durant la fase de l'estirada, es va utilitzar el sistema MuscleLab – BoscoSystem (Musclelab 6000, ErgotestInnovation AS, Porsgrunn, Norway), connectats a la plataforma de contactes i un codificador lineal respectivament.
- Els aixecaments van ser filmats a alta velocitat ($300 \text{ frames} \cdot \text{s}^{-1}$) amb una càmera Casio Exilim EXF1. Les filmacions van ser analitzades en 2D usant el programari lliure Kinovea (0.8.15; GPL-v2license).

Es va fixar la plataforma de contactes sobre la tarima d'aixecament per registrar els temps de vol corresponents a la fase aèria entre l'acabament de l'estirada i l'entrada sota la barra. El codificador es va situar sota la barra entre els discos, just a la seva projecció vertical, per enregistrar els valors mitjans de potència (P) i força (F) durant l'estirada, el pic de velocitat (pV) al final de l'estirada, i l'alçada màxima (H) aconseguida per la barra en l'estirada.

La càmera digital es va col·locar lateralment al subjecte per visionar el pla sagital de l'aixecament. L'alçada de l'objectiu de la càmera es va ajustar a través d'un trípode a 1,5 m d'alçada i a una distància de 5 m del centre de la barra, formant un angle de 90° respecte al pla sagital de l'aixecador. Els intents nuls van ser descartats per a l'anàlisi. La disposició dels instruments usats en el test es pot observar a la *figura 2*.

Procediments

La valoració va consistir en un test màxim de càrregues progressives durant una sessió d'entrenament. Després d'un escalfament específic de la dita modalitat, cada aixecador va fer un test màxim d'arrencada.

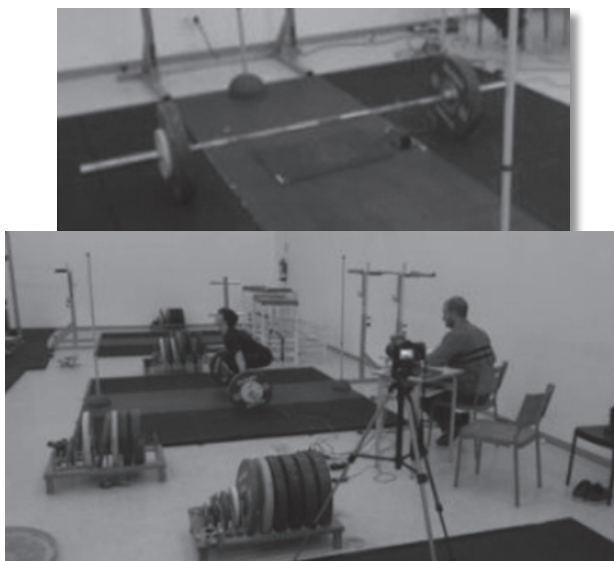
	Mitjana	DE
Edat	21,57	5,50
Pes (kg)	70,71	10,18
Alçada (m)	1,70	0,06
Experiència (anys)	8,43	5,00
Arr1RM _c (kg)	106,21	12,03
DT1RM _c (kg)	129,79	17,09
Puntuació Sinclair	314,99	20,19

Arr1RM_c: millor marca personal en competició en arrencada; DT1RM_c: millor marca personal en competició en dos temps.

▲ **Taula 1.** Característiques descriptives de la mostra inicial (n=7) i variables de rendiment

	Mitjana	DE
Edat	19,25	3,77
Pes (kg)	67,25	12,66
Alçada (m)	1,68	0,07
Experiència (anys)	7,13	3,01
Arr1RM _c (kg)	102,25	10,05
DT1RM _c (kg)	121,00	14,31
Puntuació Sinclair	309,47	13,71

▲ **Taula 2.** Característiques descriptives i variables de rendiment en el subgrup amb seguiment pre-post (n=4)



▲ **Figura 2.** En la imatge superior, pot apreciar-se la disposició de la plataforma de contactes i el codificador sota la barra a la plataforma d'aixecament. En la inferior, la col·locació de la càmera d'alta velocitat respecte a l'aixecador i la plataforma d'aixecament

El procediment del test va ser una modificació del proposat per Häkkinen et al. (1984), consistent en l'execució d'un aixecament únic a partir d'una càrrega aproximada del 75 % de la millor marca de la temporada competitiva actual de l'aixecador (1RMC). La càrrega es va incrementar gradualment a intervals aproximats del 5 %. En cas d'intent fallit, es va permetre un segon aixecament amb la mateixa càrrega. El test acabava després de dos intents nuls sobre la mateixa càrrega o quan l'aixecador declinava l'intent. L'últim aixecament vàlid era considerat com la repetició màxima per al test (1RMT) i la resta de càrregues es determinaven percentualment en relació a aquesta càrrega (%1RMT).

La millor marca personal de l'aixecador en arrencada obtinguda en competició (1RMC) es va normalitzar respecte a l'obtinguda en el test (1RMT), i es va expressar la seva diferència en percentatges (%Dif C-T). A través d'aquesta normalització es quantificava el grau d'esforç del subjecte al test (1RMT) respecte a la marca aconseguida en competició (1RMC). Estudis anteriors (Zatsiorsky & Kraemer, 2006) suggereixen diferències entre la 1RMC i la 1RMT d'aproximadament un $12,5 \pm 2,5$ % a favor de la 1RMC. A més a més, la 1RMT sol fluctuar en funció de la sessió i el període d'entrenament (Spasov, 1989).

Anàlisi estadística

Quaranta-un aixecaments ($N = 41$) de set subjectes ($n = 7$) van ser analitzats en el primer test mitjançant el paquet estadístic SPSS (SPSS Statistics 21.0, IBM, New York, EUA) i el full de càlcul Microsoft Excel (Excel 14.0, Office 2010, Microsoft, Washington, EUA).

Per a la caracterització del Tv i de la resta de variables (P, F, pV, H) es van utilitzar els valors estadístics següents: mitjanes, desviacions estàndard, valors màxim i mínim de P i Tv dins la sèrie de càrregues de cada aixecador, a més de la càrrega amb què van ser obtinguts aquests valors. L'alçada màxima aconseguida per la barra en l'estirada va ser normalitzada i expressada percentualment segons l'alçada corporal de l'aixecador (H_{rel}).

Per a l'anàlisi de la relació entre el Tv i les variables considerades en el present estudi, es va emprar el coeficient de correlació de Pearson (r) i el model de regressió simple. La distribució normal de la mostra (nombre d'aixecaments, $N = 41$), en cadascuna de les variables d'anàlisi, es va verificar mitjançant la prova de normali-

tat de Kolmogorov-Smirnov. Durant l'anàlisi de regressió es va comprovar l'homoscedasticitat de les variables mitjançant la prova de Levene. La variable Tv diferia de la distribució normal tot presentant una asimetria positiva, per la qual cosa es va fer una transformació logarítmica (Zar, 1999) per complir amb els supòsits de normalitat en l'ús de proves paramètriques.

Per estudiar el potencial increment de les variables al cap de vuit setmanes, es van analitzar un total de quaranta-cinc aixecaments ($N = 45$) pertanyents a quatre subjectes ($n = 4$), repartits entre 23 aixecaments corresponents al pretest fet en el període preparatori, i 22 corresponents al posttest en el període competitiu. Per a la comparació de mitjanes en el subgrup entre el pretest i el posttest, es va utilitzar la prova de Wilcoxon per a dades emparellades. Tant la variable Tv com les seves transformades no s'ajustaven a la distribució normal, per la qual cosa es va utilitzar l'esmentada prova no paramètrica. El nivell de significació es va establir en $p \leq 0,05$.

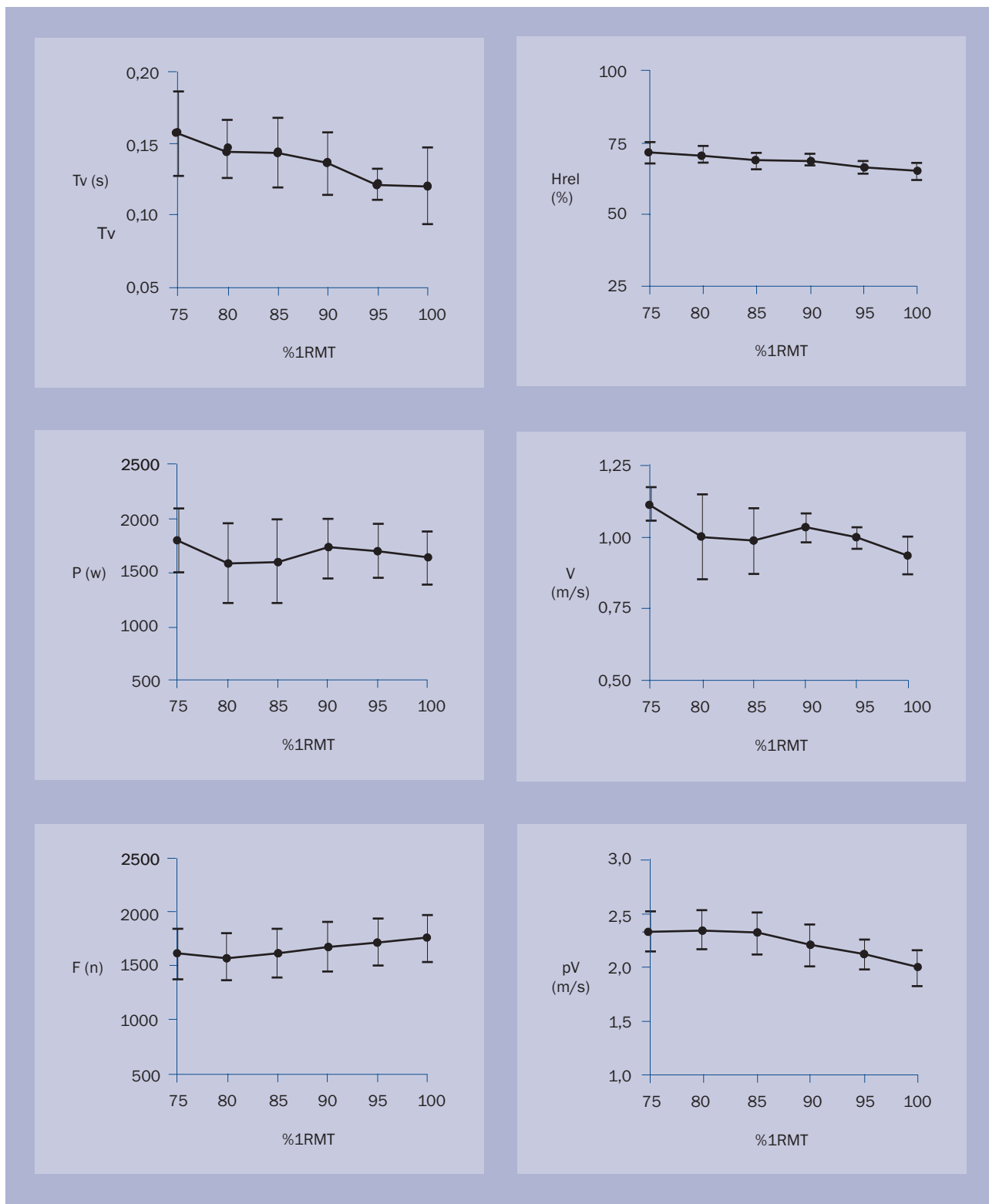
Resultats

En el test inicial, la càrrega màxima d'entrenament ($1RM_T$) obtinguda pels subjectes ($n = 7$) va ser de $94,29 \pm 12,72$ kg, presentant una diferència respecte a la seva millor marca en competició (%Dif C-T) de $-11,25 \pm 6,38$ %. El menor temps de vol (Tv_{min}) va ser de $0,108 \pm 0,015$ s, obtingut amb una càrrega del $92,02 \pm 11,14$ %1RMT. El pic de potència mitjà (P_{max}) va ser de $1791,31 \pm 337,26$ W obtingut amb una càrrega del $87,30 \pm 9,43$ %1RMT.

A la *figura 3* es detallen els canvis de les variables Tv, P, F, V, pV i H_{rel} durant l'execució de l'estirada a mesura que augmenta la càrrega, fins a arribar als seus valors màxims.

Es va observar una moderada correlació negativa ($r = -0,561$; $p < 0,01$) entre el temps de vol (Tv) i la càrrega (%1RMT) en l'arrencada (*fig. 4A*). Per a càrregues entre el 75 i el 95 % de $1RM_T$ (*fig. 4B*) aquesta relació era similar ($r = -0,558$; $p < 0,01$). Les equacions de regressió lineal es mostren a la *figura 4*, el coeficient de determinació de la qual suggereix una feble relació d'ajust al model.

No es van trobar correlacions significatives entre el Tv i la resta de variables analitzades (*taula 3*). Es van observar elevades correlacions positives significatives entre F i P ($r = 0,821$; $p < 0,01$), i entre pV i H_{rel} ($r = 0,881$; $p < 0,01$) en l'estirada.



▲
Figura 3. Valors mitjans (mitjana ± DE) durant l'estirada de: potència (P), força (F), velocitat (V) i pic de velocitat (pV) amb càrregues entre el 75 i el 100 % de la càrrega màxima del test. A més a més, es detalla el comportament del temps de vol (Tv) i l'alçada màxima relativa (H_{rel}) de la barra al final de l'estirada en l'arrencada per al total dels subjectes (n=7) i aixecaments (N=41) analitzats

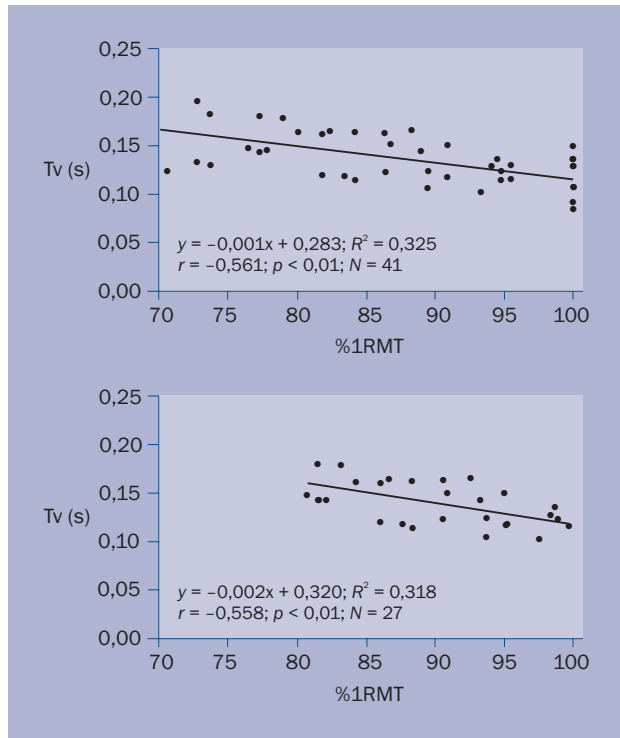


Figura 4. (A) Dalt, relació entre el temps de vol (Tv) i la càrrega (%1RMT) en l'arrencada per al total dels subjectes ($n=7$) i aixecaments ($N=41$) analitzats. (B) Sota, relació entre el Tv i la càrrega en aixecaments ($N=27$) entre el 75 i el 95 % 1RM. Sobre el gràfic es mostren l'equació de regressió lineal i el valor de R^2

Per al subgrup pre-post, les variables de rendiment (1RMC, 1RMT, %Dif C-T) i biomecàniques (Tv, P, F, pV, H_{rel}) obtingudes en ambdós tests es presenten a la taula 4. Es consideren els valors màxims i/o mínims per a la sèrie d'intents del test en les variables analitzades més la càrrega amb què es van produir.

Encara que el grau d'implicació en l'esforç (%Dif C-T) va ser similar en ambdós tests, tres subjectes van fer intents sobre la seva millor marca de competició (1RMC) en el post, i només un va empitjorar la seva marca (1RMT) respecte al primer test. Malgrat

Taula 3. Relació entre el Tv i les variables biomecàniques de l'estirada mitjançant el coeficient de correlació de Pearson (r)

	Tv (s)	1RM _T (%)	P (w)	F (N)	pV ($m \cdot s^{-1}$)	H _{rel} (%)
Tv (s)	1					
1RM _T (%)	-0,561**	1				
P (w)	0,186	-0,062	1			
F (N)	-0,185	0,309*	0,821**	1		
pV ($m \cdot s^{-1}$)	0,203	-0,642**	0,073	-0,096	1	
H _{rel} (%)	0,224	-0,658**	0,375*	0,204	0,881**	1

* La correlació és significativa a nivell $p < 0,05$ (bilateral); ** La correlació és significativa a nivell $p < 0,01$ (bilateral).

	Preparatori (pretest)		Competitiu (posttest)	
	Mitjana	DE	Mitjana	DE
1RM _C (kg)	102,25	10,05	102,25	10,05
1RM _T (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 _T)	93,38	7,09	92,05	9,47
P _{màx} (W)	1679,48	347,72	1705,73	257,28
P _{màx} (%1RM _T)	88,84	9,24	79,45	3,33
F _{màx} (N)	1705,98	272,88	1702,85	301,46
pV min ($m \cdot s^{-1}$)	1,90	0,12	2,01	0,11
H _{rel} min (%)	64,14	3,12	64,81	5,86

* La correlació és significativa a nivell $p < 0,05$ (bilateral).

Taula 4. Variables de rendiment i biomecàniques obtingudes en el grup pre-post transcorregudes vuit setmanes. El pretest i el posttest es corresponen a dos moments diferents del cicle d'entrenament durant la temporada ($n=4$; $N=45$).

observar-se una tendència a reduir el temps de vol mínim (Tv min) i incrementar el pic de potència màxima ($P_{màx}$), no es van trobar diferències significatives entre ambdós tests ($p < 0,05$). A més a més, aquests pics es van produir davant càrregues més lleugeres en el post, encara que tampoc es van trobar diferències significatives. Tampoc es van trobar diferències importants en els valors de força màxima ($F_{màx}$), pic de velocitat mínim (pV min) i alçada relativa mínima (Hrelmin) de la sèrie d'intents de cada aixecador entre ambdós tests. Aquests valors es van registrar sempre durant l'intent màxim per a cada aixecador. En aquest cas, malgrat no trobar-se diferències significatives, pot observar-se un lleuger increment del pV al final de l'estirada en la càrrega màxima encara que no ha variat la marca entre ambdós tests.

A la figura 5, s'ofereix l'evolució de les variables analitzades en funció de la càrrega, en el grup que va fer el pretest i el posttest (anàlisi dels efectes de l'entrenament).

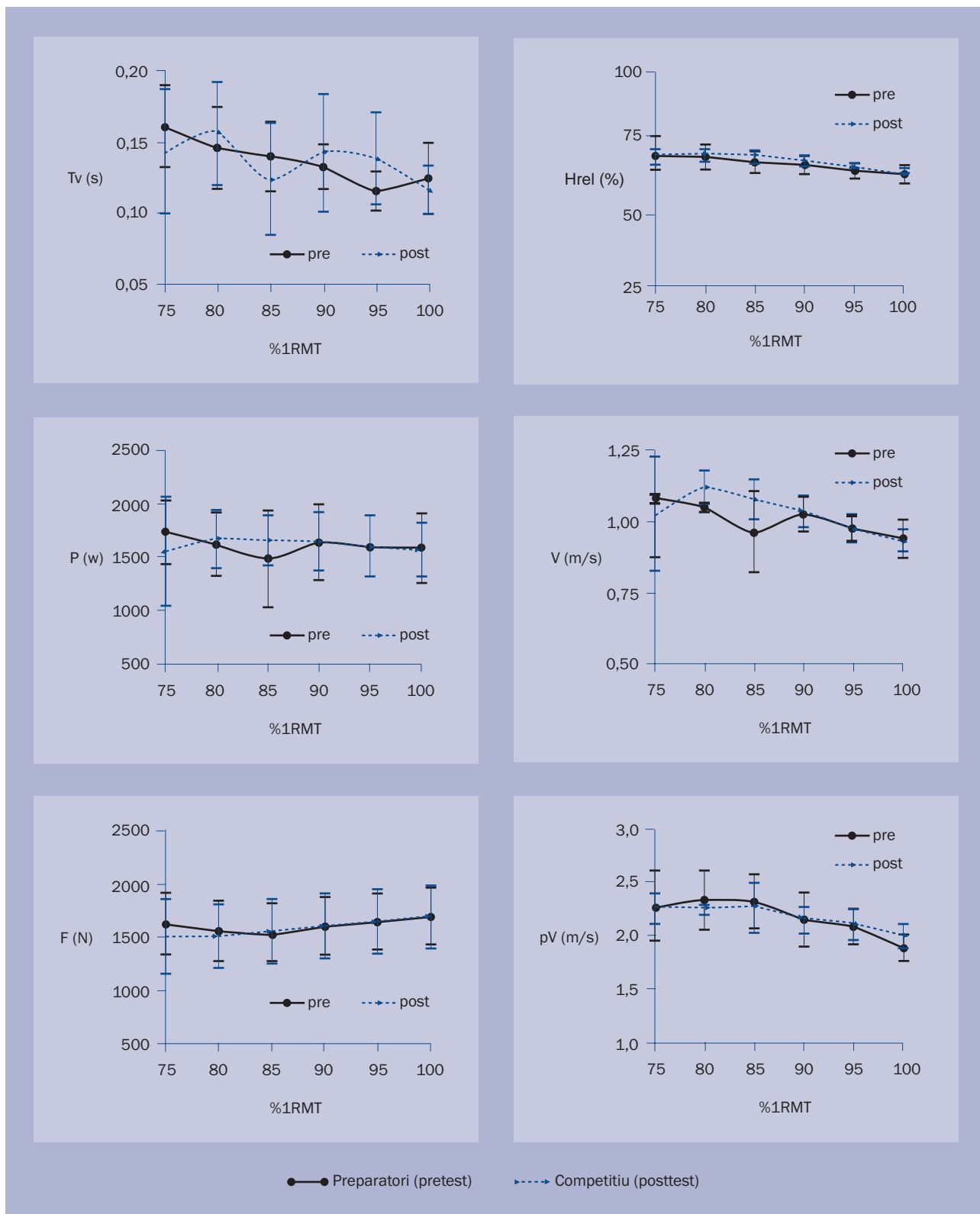


Figura 5. Valors mitjans (mitjana ± DE) durant l'estirada de: P, F, V i pV amb càrregues entre el 75 i el 100 % 1RMT, per al grup pre-post (n = 4; N = 45) durant el període preparatori i el competitiu. A més a més, es detalla el comportament del Tv i la H_{rel}

Discussió

Els resultats d'aquesta investigació indiquen l'alt grau de variabilitat del Tv al costat dels paràmetres biomecànics P, F, pV y H_{rel} de l'estirada amb l'increment de la càrrega en l'arrencada. La principal troballa d'aquest estudi ha estat la moderada relació inversa entre càrrega i Tv. Així, el Tv en el desplaçament dels peus durant l'entrada aniria disminuint a mesura que s'incrementa la càrrega, sent aquesta relació lineal significativa encara que de natura moderada, probablement a causa de la reduïda mida de la mostra. En canvi, quan la càrrega s'incrementa, també ho fa la força i disminueixen proporcionalment la velocitat i l'alçada de la barra al final de l'estirada, localitzant-se els seus valors pic just en l'ocupació de càrregues maximals. Per a les variables Tv i P, els resultats de l'estudi suggereixen que el valor mínim del Tv succeeix amb càrregues del 90-95 % 1RM i el màxim de potència amb càrregues del 80-90 % 1RM.

Els valors mitjans del Tv pròxims als 0,150 s amb càrregues entre el 75 i el 95 % 1RM coincideixen amb els trobats en la bibliografia (Garhammer, 1985; Häkkinen et al, 1984; Ilyin et al., 1978; Roman & Shakirzyanov, 1982, 1981; Roman & Treskov, 1983), encara que aquest patró de variació descendent del Tv respecte a la càrrega es contraposa al patró ascendent trobat per Häkkinen et al. (1984) i al constant proposat per Ilyin et al. (1978). Häkkinen et al. (1984) van concloure que aquestes diferències es podrien deure a la metodologia utilitzada, ja que contemplaven tota la fase d'entrada i no sols la fase aèria en el desplaçament. En tot cas, els seus valors mitjans serien molt reduïts

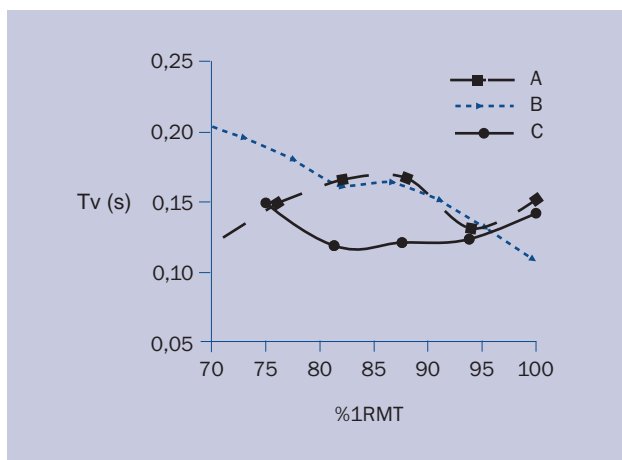


Figura 6. Tres patrons de variació del Tv amb l'increment de la càrrega en tres subjectes representatius de la mostra

per incloure tota la fase d'entrada (inferiors a 160 ms) i tampoc es detalla el nivell exacte de rendiment del grup considerat com a elit. En el segon estudi, Ilyin et al. (1978) proposen un comportament constant del Tv per a càrregues entre el 75-95 % de 1RM característica d'aixecadors d'alt nivell. Com pot observar-se en els resultats del present estudi (*fig. 4*), la natura de la relació Tv - %1RM no es veu alterada quan s'ajusten les condicions de la correlació a l'ocupació de càrregues submàximes. El nivell dels aixecadors d'aquest estudi ($314,99 \pm 20,19$ punts Sinclair) és lleugerament superior als del grup elit d'Ilyin et al. (1978). Els valors del Tv amb l'ocupació de càrregues màximes en els nostres tests semblaven presentar un comportament aleatori, i es podia apreciar patrons de variació dispars (*fig. 6*). Aquest fet, explicaria el baix grau d'ajust, segons el model de regressió simple ($R^2 = 0,325$; *fig. 3*) i la pobra potència predictiva del Tv com a indicador de la intensitat de l'aixecament, considerant l'absència d'associacions significatives, respecte a la resta de variables analitzades.

És ben conegut el fet que l'entrenament realitzat pels halterofilistes desenvolupa de forma marcada les capacitats de força i potència musculars (Carlock et al., 2004; Harris, Stone, O'Bryant, Proulx, & Johnson, 2000; Stone, Byrd, Tew, & Wood, 1980), tot havent-se registrat en l'arrencada i en el dos temps els valors més alts de producció de potència en l'àmbit esportiu (Garhammer, 1980, 1991). De fet, la potència ha estat considerada com un factor clau en el rendiment de l'halterofília (Garhammer, 1985). En l'anàlisi de les relacions de canvi entre el Tv i la potència mitjana en l'estirada es va observar que els pics d'ambdues variables eren asincrònics respecte a la càrrega. Així, el mínim Tv es va registrar amb càrregues del $92,02 \pm 11,14$ %1RMT, mentre que el pic de potència màxima s'obtenia amb el $87,30 \pm 9,43$ %1RMT. No es van trobar correlacions significatives del Tv amb el pic de velocitat en l'estirada (*taula 3*). Una relació directa pV - Tv hagués suggerit que el patró de variació creixent d'aquesta variable obeeïa a una relació de transmissió de forces en la cadena cinètica de l'aixecador. Ja que les forces exercides per l'aixecador sobre la barra són conseqüència de les exercides sobre el sòl i transmeses a través de la cadena cinètica del sistema aixecador - barra, la velocitat de la barra és una funció de l'impuls mecànic exercit per l'aixecador a la plataforma d'aixecament. L'aplicació d'aquest impuls de força projecta l'aixecador cap amunt en acabar la segona estirada, i genera una fase aèria en l'aixecament. La velocitat inicial d'impuls en aquest salt

és proporcional a l'alçada aconseguida i al temps de vol, per la qual cosa el Tv en la fase aèria hauria d'estar relacionat amb la velocitat de la barra al final de l'estirada i, en conseqüència, amb la càrrega. Tanmateix, en aquest estudi, el Tv es comportava de manera decreixent respecte a la càrrega. Aquesta observació pot interpretar-se de dues maneres. La primera, que davant la menor alçada aconseguida per la barra després de l'estirada a causa de l'increment de la càrrega, l'estratègia motora de l'aixecador passa per accelerar la seva entrada sota la barra en disposar de menys temps per a això. En aquest cas, l'acció de les extremitats superiors durant l'entrada, no mesurada en aquest estudi, podria ser un factor clau en aquest comportament. I la segona, que la menor alçada aconseguida per la barra davant càrregues majors, condicionés directament l'alçada de la fase aèria de l'aixecador i reduís així la seva Tv, tot minimitzant el factor de l'acció de braços durant l'entrada. Sigui com sigui, l'absència de relació significativa entre Tv i P observada en aquest estudi i amb les dades disponibles, fa necessari un major nivell d'anàlisi ja que podria resultar un factor clau en la valoració de l'estat de forma de l'aixecador.

La relació P - Tv va mostrar cert grau de sensibilitat als efectes de l'entrenament en el grup que va seguir el tractament pre-post. Es van observar tant una lleugera reducció del mínim Tv ($0,110 \pm 0,014$ s a $0,107 \pm 0,014$ s) com un increment de la potència màxima ($1679,48 \pm 347,72$ W a $1705,73 \pm 257,28$ W) en el grup que va fer el posttest. A més a més, aquests valors es van obtenir davant càrregues més lleugeres en el període competitiu, encara que no es van aconseguir diferències significatives. També sense diferències significatives, el pic de velocitat amb la càrrega màxima ($1,90 \pm 0,12$ a $2,01 \pm 0,11$ m·s⁻¹) va augmentar lleugerament. Aquestes dades, suggereixen unes adaptacions cap a un perfil de major velocitat i potència durant el cicle d'entrenament, on la magnitud del Tv podria disminuir a causa de la major capacitat de l'aixecador per desplaçar-se sota la barra de forma més ràpida a mesura que s'acumulen les adaptacions de l'entrenament. L'absència de diferències significatives podria ser degut al reduït nombre de subjectes de la mostra en el seguiment longitudinal. La hipòtesi de la sensibilitat d'aquests factors davant el canvi en l'estat de forma quedaria reforçada per la utilització de la diferència de marques (%Dif C-T) com a mesura de valoració del grau d'esforç en el test. Encara que els resultats van ser molt similars en el pretest i en el post per a la 1RMT i la %Dif C-T, el valor d'aquest últim entorn al 10 % es-

taria d'acord amb el rang de 10-12,5 % estimat per Zatsiorsky i Kraemer (2006), indicant la consistència d'aquests valors i l'exercici d'un esforç màxim real per part dels halterofilistes d'aquest estudi. Cal ressaltar que, com s'ha assenyalat, tres dels subjectes del subgrup amb seguiment longitudinal van executar intents sobre la seva millor marca de competició en el posttest. La consideració de la relació Tv - P com a mesura de control del procés d'entrenament en halterofilistes mereixeria ser analitzada amb més profunditat.

És important acabar ressenyant que el reduït nombre de subjectes que van participar en l'estudi, conseqüència d'un esport molt minoritari, no permet considerar les dades estadístiques com inferencials. Tanmateix, sí que creiem que el disseny metodològic utilitzat per caracteritzar la cinemàtica i la dinàmica dels aixecaments en halterofília suposa una aportació rellevant.

Conclusions

Els resultats d'aquest estudi revelen un comportament descendent del Tv davant l'increment de la càrrega en l'arrencada a l'emprar-se càrregues submàximes. Malgrat la moderada correlació inversa trobada entre el Tv i la càrrega, l'absència de correlacions significatives respecte a altres variables biomecàniques clau en l'estirada, suggereixen una limitació en la consideració del Tv com a indicador de la intensitat general de l'aixecament. El seu baix grau d'ajust al model de regressió també limita el seu paper predictiu en la relació Tv - %1RM. A més a més, s'aprecia un caràcter impredecible del Tv en l'ocupació de càrregues màximes. Aquestes conclusions haurien de ser considerades en la població de referència de l'estudi, joves halterofilistes d'un grup de tecnificació, tot suggerint-se un major grau de variació en el comportament d'aquesta variable en aixecadors novells.

Tanmateix, en el subgrup monitoritzat durant vuit setmanes, la sensibilitat mostrada tant pel temps de vol com per la potència davant el canvi en l'estat de forma dels aixecadors analitzats mereixeria una anàlisi més detallada per poder valorar la seva utilització com a mesura de control en el procés d'entrenament d'halterofilistes, preferentment en el control de càrregues submàximes.

Conflicte d'interessos

Els autors declaren no tenir cap conflicte d'interessos.

Referències

- 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* (Tesi 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. A A. Lukacsfalvi & F. Takacs (Eds.), *Proceedings of the Weightlifting Symposium - Ancient Olympia/Greece* (pàg. 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. A 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* (Tesi 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* (pàg. 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* (pàg. 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.
- Spasov, 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., Byrd, R., Tew, J., & Wood, M. (1980). Relationship between anaerobic power and Olympic weightlifting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 20(1), 99-102.
- Urso, A. (2014). *Weightlifting. Sport for all sports*. Torgiano, Perugia: Calzetti-Mariucci.
- World Medical Association (1964). *Declaration of Helsinki*. Recuperat de <http://www.wma.net/>
- Zar, J. H. (1999). *Biostatistical analysis* (4a ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Zatsiorsky, V., & Kraemer, W. (2006). *Science and practice of strength training* (2a ed.) Champaign, IL: Human Kinetics.