

# Anàlisi de la capacitat d'acceleració en dones atletes de modalitats de velocitat

## *Analysis of the Acceleration Capacity of Female Sprint Athletes*

**GERARD CARMONA DALMASES**

Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya  
Universitat de Barcelona

**CARLOS GONZÁLEZ-HARO**

Departament de Farmacologia i Fisiologia  
Facultat de Medicina  
Universidad de Zaragoza

**Autor per a la correspondència**

**Gerard Carmona Dalmases**  
gercd1@gmail.com

### Resum

**Objectius.** Caracteritzar la capacitat d'acceleració en relació amb el rendiment (temps en esprint de 30 m), la velocitat màxima i les manifestacions de força (capacitat de salt) i potència (en mig *esquat*) musculars en quatre dones atletes d'especialitats de velocitat d'àmbit nacional. **Mètodes.** Es van fer dos dies de proves (pista i laboratori). Es va valorar la capacitat d'acceleració (velocitats instantànies a 1, 2 i 3 s  $-v_{11}$ ,  $v_{12}$  i  $v_{13}$ ), acceleració inicial ( $a_{inicial}$ ), temps d'esprint en 30 metres (rendiment), velocitat màxima ( $v_{max}$ ), capacitat de salt (SJ, CMJ, LJ bw i RJ 5s) i potència mitjana màxima ( $P_m$  màx) desenvolupada en mig *esquat*. **Resultats.** Es van trobar correlacions significatives entre el rendiment ( $t_{30m}$ ) i la  $v_{max}$  ( $r = -0,980$ ;  $P < 0,01$ ), la capacitat d'acceleració (velocitats instantànies) i el  $t_{30m}$  ( $r = -0,954$ ;  $P < 0,05$ ) i la  $v_{max}$  ( $r = 0,992$  i  $0,979$ ;  $P < 0,01$  i  $0,05$ ), la manifestació elàstica de la força (CMJ) i el  $t_{30m}$  ( $r = -0,983$ ;  $P < 0,05$ ), i la força dinàmica màxima relativa i la  $a_{inicial}$  ( $r = 0,980$ ;  $P < 0,01$ ). **Conclusions.** La principal troballa d'aquest estudi va ser que la  $v_{max}$  era el major determinant del  $t_{30m}$ . També la capacitat d'acceleració, sobretot la  $v_{12}$ , i el CMJ van tenir una gran ascendència sobre el  $t_{30m}$  i la  $v_{max}$ .

**Paraules clau:** esprint, capacitat d'acceleració, velocitat màxima, força, corba velocitat-temps

### Abstract

#### *Analysis of the Acceleration Capacity of Female Sprint Athletes*

**Objectives.** To describe acceleration capacity in relation to performance (time over a 30 m sprint), maximum speed and muscle strength (jumping ability) and power (half-squat) in 4 women athletes specialising in sprint events at the national level. **Methods.** There were two days of testing (track and laboratory). We evaluated acceleration ability (instantaneous speed at 1, 2 and 3 s ( $v_{11}$ ,  $v_{12}$  and  $v_{13}$ )), initial acceleration ( $a_{initial}$ ), 30 m sprint time (performance), maximum speed ( $v_{max}$ ), jumping ability (SJ, CMJ, LJ bw and RJ 5s) and maximum average power ( $P_m$  max) in a half-squat. **Results.** Significant correlations were found between performance ( $t_{30m}$ ) and  $v_{max}$  ( $r = -0.980$ ;  $P < 0.01$ ), acceleration ability (instantaneous speed) and  $t_{30m}$  ( $r = -0.954$ ;  $P < 0.05$ ) and  $v_{max}$  ( $r = 0.992$  and  $0.979$ ;  $P < 0.01$  and  $0.05$ ), elastic force (CMJ) and  $t_{30m}$  ( $r = -0.983$ ;  $P < 0.05$ ) and maximum relative dynamic strength and  $a_{initial}$  ( $r = 0.980$ ;  $P < 0.01$ ). **Conclusions.** The main finding of this study is that  $v_{max}$  was the major determinant of  $t_{30m}$ . Also acceleration ability, especially  $v_{12}$ , and CMJ had a great influence on  $t_{30m}$  and  $v_{max}$ .

**Keywords:** sprint, acceleration ability, maximum speed, strength, speed-time curve

### Introducció

Des d'un punt de vista condicional, la velocitat (moviments en què s'ha de vèncer una resistència important amb una considerable contribució energètica) i la rapidesa (moviment aïllat, veloç, de baixa contribució

energètica, sense una resistència a vèncer) (Verkhoshansky, 1996a) determinen el rendiment en la majoria d'esports (Verkhoshansky, 1996b). No obstant això, s'ha suggerit que la velocitat màxima ( $v_{max}$ ) i especialment la capacitat d'acceleració són els paràmetres més

determinants del rendiment en la majoria d'especialitats esportives (Murphy, Lockie, & Coutts, 2003). A més a més, el paradigma de la velocitat en l'esport és l'esprint, i per tant és important conèixer els paràmetres que el determinen.

En la literatura especialitzada hi ha diferents estudis en què s'han trobat relacions entre algunes capacitats condicionals i l'esprint. Per ser més precisos, alguns autors han mostrat relacions entre la capacitat de salt i l'esprint ( $r = 0,70$ ;  $P < 0,01$ ) (Mero, Luhtanen, & Komi, 1983); ( $r = -0,77$ ;  $P < 0,01$ ) (Young, 1995); ( $r = -0,63$ ;  $P < 0,001$ ) (Bosco, 2000); ( $r = -0,79$ ;  $P < 0,01$ ) (Maulder, Bradshaw, & Keog, 2006); ( $r = 0,69$ ;  $P < 0,05$ ) (Kale, Asçi, Bayrak, & Açıkada, 2009) ( $r = -0,89$ ;  $P < 0,01$ ) (Habibi et al., 2010). Altres han trobat una relació entre la força dinàmica màxima relativa o la potència (mitjana i/o pic) en un exercici d'esquat i l'esprint ( $r = 0,74$ ;  $P < 0,001$ ) (Bret, Rahmani, Dufour, Mesonier, & Lacour, 2002) ( $r = 0,71$ ;  $P < 0,01$ ) (Wisløff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004) ( $r = -0,68$ ;  $P < 0,001$ ) (Sleivert & Taingahue, 2004) ( $r = 0,60$ ;  $P < 0,01$ ) (McBride et al., 2009). També s'ha suggerit que la  $v_{m\grave{a}x}$  és la variable que més relació té amb l'esprint ( $r = 0,98$ ;  $P < 0,01$ ) (Letzelter, 2006). A l'últim, una altra variable que s'ha relacionat amb l'esprint és la capacitat d'acceleració. Més concretament, Letzelter (2006) va trobar una relació entre la capacitat d'acceleració (temps en 10 m) i el rendiment (temps en 100 m) en dones velocistes juvenils d'elit ( $r = 0,70$ ;  $P < 0,01$ ), mentre que Little i Williams (2005) van trobar una relació entre la capacitat d'acceleració (*tempo* en 10 m) i la  $v_{m\grave{a}x}$  ( $r = 0,62$ ;  $P < 0,001$ ).

En els últims anys l'anàlisi de la capacitat d'acceleració es troba molt en voga (Maulder, 2005; Spinks, Murphy, Spinks, & Lockie, 2007) pel fet que s'ha observat que en nombroses disciplines esportives preval la consecució d'elevades taxes d'increment de velocitat específica en molts breus lapses de temps (Murphy et al., 2003). La capacitat d'acceleració ha estat estudiada mitjançant diferents conceptes a partir de la corba velocitat-temps (c.  $v-t$ ). Ja el 1927, el fisiòleg A. V. Hill va utilitzar un oscil·lògraf per fer un registre de valors de temps i obtenir l'acceleració en un grup d'esprintadors (Basset, 2002). Henry i Trafton (1951) van utilitzar un sistema precursor de les cèl·lules fotoelèctriques per a la representació de la corba  $v-t$  a fi d'establir constants d'acceleració que permetessin

fer prediccions de la velocitat. Anys després, Volkov i Lapin (1979), utilitzant una versió millorada del velocímetre (dinamògraf) desenvolupat per Abalakov el 1960, van fer un registre continu de la velocitat. Aquests autors van proposar una equació per representar la corba  $v-t$  en aquelles curses en què no es produeix una pèrdua significativa de velocitat (fase de desacceleració) (1):

$$v = v_{m\grave{a}x} \cdot (1 - e^{-t/\tau}) \quad (1)$$

Chelly i Denis (2001) van obtenir l'acceleració inicial ( $a_{inicial}$ ) a partir de la ràtio  $v_{m\grave{a}x} \cdot \tau^{-1}$  de l'equació de la velocitat (1), en la qual  $\tau$  és la constant de temps. Di Prampero et al. (2005), en un estudi fet amb esprintadors de 100 metres de nivell mitjà ( $11,30 \pm 0,35$  s), van analitzar la capacitat d'acceleració mitjançant el valor més elevat d'acceleració horitzontal instantània. Aquest valor es va trobar a  $0,2$  segons de la posada en acció ( $6,42 \pm 0,61$  m · s<sup>-2</sup>). L'obtenció de l'acceleració instantània es va fer mitjançant la derivada de l'equació de la velocitat (1). Atès que el model exponencial permet conèixer múltiples valors de velocitat instantània, la distància pot conèixer-se mitjançant la integral de l'equació anteriorment descrita (2):

$$d = v_{m\grave{a}x} \cdot t - (v_{m\grave{a}x} \cdot (1 - e^{-t/\tau})) \cdot \tau \quad (2)$$

Malgrat que hi ha alguns estudis sobre la capacitat d'acceleració en dones (Chainok, 2006; Letzelter, 2006), en cap d'aquests no s'ha analitzat aquesta capacitat a partir de la normalització de la velocitat feta mitjançant l'equació (1). Chelly i Denis (2001) van obtenir la  $a_{inicial}$  en jugadors d'handbol i Di Prampero et al. (2005), tal com s'ha apuntat anteriorment, van obtenir l'acceleració horitzontal instantània d'esprintadors masculins. Així mateix, en dones no s'ha establert cap tipus de relació entre la capacitat d'acceleració i altres variables determinants del rendiment en l'esprint.

Per tant, l'objectiu d'aquest estudi va ser caracteritzar la capacitat d'acceleració en relació amb el rendiment (temps en esprint de 30 m), la velocitat màxima i les manifestacions de força (capacitat de salt) i potència (en mig esquat) musculars en dones atletes d'especialitats de velocitat.

## Material i mètodes

### Participants

A quatre atletes velocistes de sexe femení (edat:  $21,8 \pm 3,9$  anys; massa corporal:  $57,0 \pm 6,8$  kg; millor marca personal en 100 m:  $12,16 \pm 0,18$  s) se'ls va informar prèviament del protocol d'estudi i van donar el seu consentiment voluntari a participar-hi. L'estudi va respectar els principis ètics de la declaració d'Hèlsinki per a la investigació biomèdica. Les atletes es trobaven en una fase de preparació específica en els seus diferents plans d'entrenament i estaven familiaritzades amb les diferents proves que es van fer en aquest estudi.

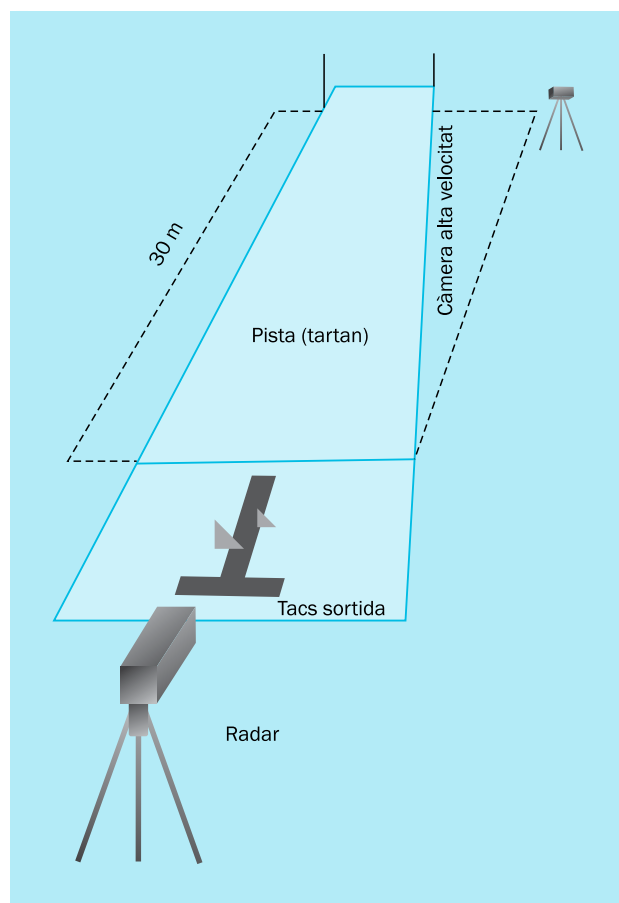
### Protocols d'estudi

Es van fer proves durant dos dies consecutius: al primer dia es van desenvolupar les proves en pista i al segon dia les proves en laboratori. Totes les proves van ser fetes en la mateixa franja horària (18-20 h) a fi de controlar l'efecte dels bioritmes sobre el rendiment de les esportistes (Atkinson & Reilly, 1996).

### Proves en pista

Després d'un escalfament de 10 minuts de cursa contínua, exercicis de tècnica de carrera, multisalts i carreres progressives de 50 metres, les atletes van fer 3 esprints de 30 metres a màxima velocitat, amb sortida des de tacs sobre una pista de tartan MondoTrack™ (MONDO, Itàlia). Es va marcar la distància de 30 metres mitjançant una línia de sortida i dues piques paral·leles en l'arribada. Les atletes van col·locar els tacs en funció de les seves preferències (sortida àmplia, mitjana o agrupada). El temps de descans entre els esprints va ser de més de 5 minuts per assegurar la recuperació (Dawson et al., 1997). Per calcular els temps de cadascun dels esprints es va fer un recompte de bastidors (Padullés, 2010) mitjançant el programa Kinovea® (programari lliure versió 0.8.7) d'una filmació a alta velocitat (210 fps) (Casio Exilim™ exFc100, CASIO, Japó), feta des de l'inici del moviment de l'atleta fins a la seva arribada a la marca de 30 metres (fig. 1). Es va escollir el millor temps ( $t_{30m}$ ) dels tres esprints fets per cada atleta.

La velocitat del millor esprint es va registrar mitjançant un radar Stalker ATS system™ (STALKER, Estats Units), que ha demostrat tenir una bona fiabilitat (Chelly & Denis, 2001; Di Prampero et al., 2005). La freqüèn-

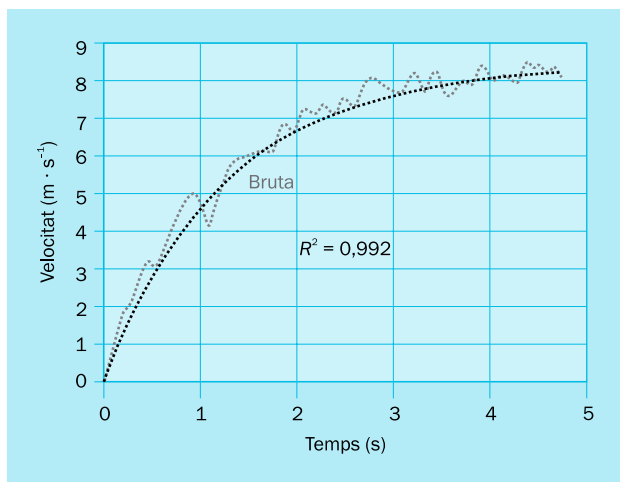


**Figura 1**  
Diagrama de la disposició de l'estudi durant les proves en pista

cia de mostratge era de 30 Hz (0,033 s), la qual cosa va permetre registrar la velocitat de manera contínua. D'aquesta manera es va poder trobar la velocitat instantània ( $v_i$ ) com a mesura de la velocitat en un temps pròxim a zero (0,01 s). El radar estava connectat a un ordinador personal mitjançant el qual es van obtenir les dades brutes de la corba  $v-t$ . La normalització de les dades obtingudes es va fer mitjançant l'aplicació de l'equació exponencial (Chelly & Denis, 2001; Di Prampero et al., 2005) proposada per Volkov i Lapin (1979) per a l'anàlisi de la fase d'acceleració:

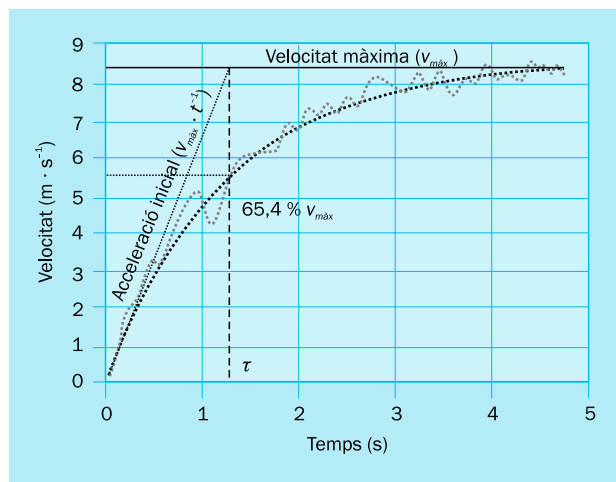
$$v = v_{\max} \cdot (1 - e^{-t/\tau})$$

on  $\tau$  és la constant temps, la qual es va calcular mitjançant el programa d'anàlisi de corbes KaleidaGraph™ (SYNERGY, Estats Units) (fig. 2).



**Figura 2**

Corba bruta  $v-t$  obtinguda mitjançant el radar (corba grisa) durant l'esprint de 30 m d'una de les participants. Corba  $v-t$  normalitzada mitjançant l'equació exponencial de la fase d'acceleració (corba negra).

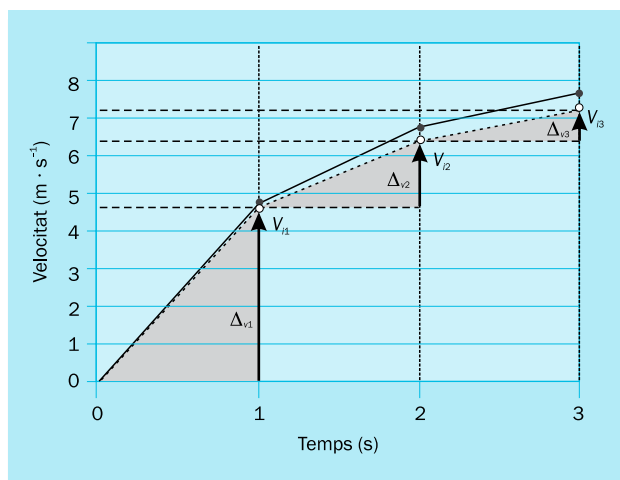


**Figura 3**

Corba  $v-t$  (bruta i normalitzada) i  $a_{inicial}$  com a relació de la  $v_{m\grave{a}x}$  i la constant  $t$  d'una de les participants

La velocitat màxima ( $v_{m\grave{a}x}$ ) es va obtenir seleccionant el valor més elevat de velocitat normalitzada de la corba  $v-t$ . A més a més, l'acceleració inicial ( $a_{inicial}$ ) es va calcular mitjançant la ràtio  $v_{m\grave{a}x} \cdot \tau^{-1}$  (Chelly & Denis, 2001) (fig. 3).

També es va quantificar la capacitat d'acceleració mitjançant la  $v_i$  registrada en valors de temps elegits arbitràriament (1, 2 i 3 s, amb els quals es van obtenir tres velocitats instantànies  $v_{i1}$ ,  $v_{i2}$  i  $v_{i3}$ , respectivament) (fig. 4). Com que es tracta de valors de temps relativa-



**Figura 4**

Valors de  $v_{i1}$ ,  $v_{i2}$  i  $v_{i3}$  de dos exemples (○ i •) reals. Els increments de velocitat entre lapses de temps ( $\Delta v$ ) reflecteixen l'acceleració aconseguida per una de les atletes. Es pot observar com la major acceleració es produeix en el valor de temps menor (1 s)

ment baixos, representen una zona de la corba  $v-t$  en la qual es manifesta una major taxa de variació de la velocitat: l'inici de l'esprint o posada en acció (sortida de tacs) i la fase d'acceleració en cursa.

### Proves de laboratori

Després d'un escalfament de 10 minuts de cursa contínua i exercicis submàxims de mig esquat (5-6 repeticions amb 30, 50 i 70 kg), les atletes van fer una prova de càrregues progressives en mig esquat mitjançant una barra lliure i discos Salter™ (SALTER, Espanya). La prova va començar amb una càrrega externa de 50 quilos; després de 5 minuts de recuperació passiva entre sèries, la càrrega es va incrementar en 20 quilos fins que una de les càrregues va provocar un descens de la potència mitjana màxima ( $P_m \text{ màx}$ ). Cada atleta va fer 2-3 repeticions, de les quals només es va registrar el millor resultat de  $P_m \text{ màx}$  produïda al llarg de l'extensió de cames fins a 180°. La producció de potència mecànica es va mesurar mitjançant un codificador lineal el senyal del qual va ser processada mitjançant el sistema MuscleLab™ 4000e (ERGOTEST, Noruega). Mitjançant aquesta prova, es va calcular el valor de  $P_m \text{ màx}$  i es va interpolar la càrrega, expressada en newtons (N), amb la que s'havia obtingut aquesta.

Després de 15 minuts d'haver finalitzat la primera prova de laboratori es va procedir a la realització d'una bateria de proves de salt en l'ordre següent: *squat jump* (SJ) (Vittori, 1990), *counter movement jump* (CMJ) (Young, 1995), *load jump* pes corporal (LJ bw) (Gorostiaga et al.,

2004) i *rebound jump* 5 segons (RJ 5s) (Locatelli, 1996). L'altura obtinguda en aquests salts es va utilitzar per a la valoració indirecta de la força explosiva (SJ), elàsticoexplosiva (CMJ), dinàmica màxima relativa (LJ bw) i reactiva (RJ 5s). En cadascun dels salts cada atleta va fer 2-3 intents, dels quals es va registrar el millor resultat, és a dir, la major altura de vol (cm). A més a més, entre cadascun dels diferents tipus de salt es va fer una recuperació de 3 minuts. En la prova de RJ 5s es va calcular la mitjana de l'altura, de la potència relativa i del temps de contacte. L'altura de vol (i en el cas del RJ 5s també la potència relativa i el temps de contacte) de totes les proves de salt es va obtenir mitjançant una plataforma de contactes ErgoJump™ (BOSCO SYSTEM, Itàlia), el senyal de la qual va ser processada mitjançant el sistema MuscleLab™ (ERGOTEST, Noruega).

### Anàlisi estadística

Els resultats es van expressar com a  $X \pm DE$ . La normalitat de la mostra es va calcular mitjançant el test de Shapiro-Wilk. La relació de la capacitat d'acceleració ( $a_{inicial}$ ,  $v_{11}$ ,  $v_{12}$  i  $v_{13}$ ) amb les variables rendiment ( $t_{30m}$ ), manifestació de la força expressada a través de la capacitat de salt (SJ, CMJ, LJ bw, RJ 5s) i potència en mig esquat ( $P_m màx$ ) es va calcular mitjançant la correlació de Pearson. El nivell de significació es va establir en  $P < 0,05$ . Tots els càlculs es van fer mitjançant el programa StatPlus®.mac (ANALYSTSOFT, Estats Units).

## Resultats

Els resultats de tots els paràmetres estudiats en aquest estudi es poden observar a la *taula 1*.

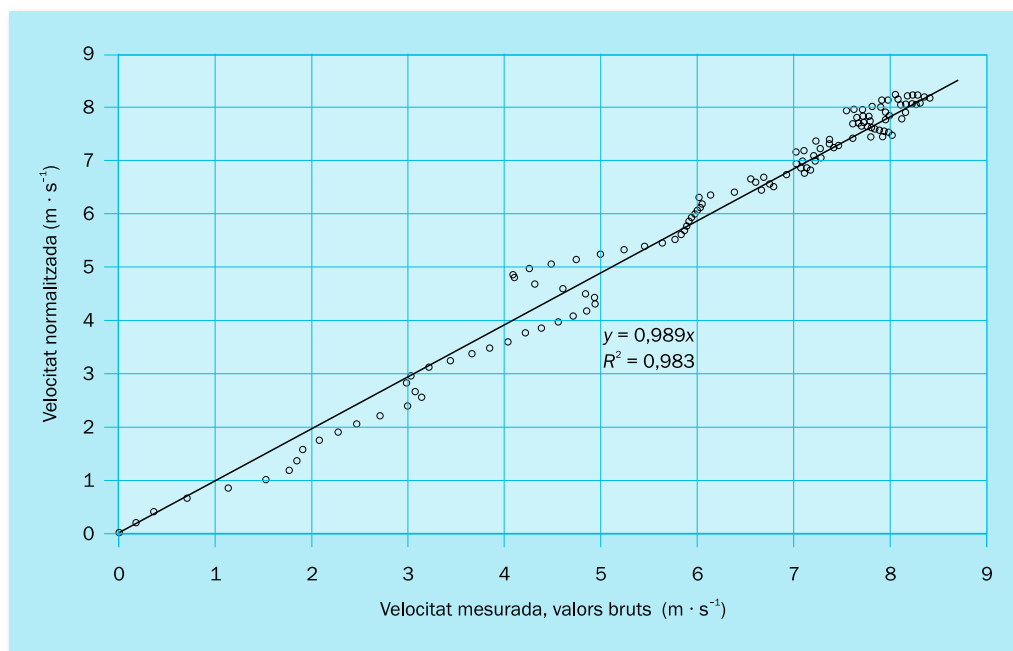
La velocitat expressada en dades brutes en relació amb l'expressada en dades normalitzades va mostrar tenir un elevat coeficient de determinació, tal com es mostra a la *figura 5*.

Variable	$X \pm DE$
$t_{30m}$ (s)	4,6 ± 0,1
$a_{inicial}$ ( $m \cdot s^{-2}$ )	6,6 ± 0,2
$v_{11}$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	4,8 ± 0,1
$v_{12}$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	6,6 ± 0,2
$v_{13}$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	7,5 ± 0,2
$v_{màx}$ ( $m \cdot s^{-1}$ )	8,1 ± 0,3
SJ (cm)	42,3 ± 2,4
CMJ (cm)	44,1 ± 3,3
LJ bw (cm)	16,3 ± 2,6
RJ 5s temps contacte (ms)	171,0 ± 21,9
RJ 5s potència relativa ( $w \cdot kg^{-1}$ )	67,0 ± 5,1
RJ 5s hcg (cm)	45,3 ± 2,5
$P_m màx$ (w)	1.136 ± 191

$t_{30m}$ : temps en 30 m;  $a_{inicial}$ : acceleració inicial;  $v_{11}$ : velocitat instantània a 1 s;  $v_{12}$ : velocitat instantània a 2 s;  $v_{13}$ : velocitat instantània a 3 s;  $v_{màx}$ : velocitat màxima; SJ: *squat jump*; CMJ: *counter movement jump*; LJ bw: *load jump body weight* (pes corporal); RJ 5s temps de contacte: temps de contacte mitjà durant 5 s de *rebound jump*; RJ 5s potència relativa: potència relativa mitjana durant 5 s de *rebound jump*; RJ 5s hcg: altura del centre de gravetat mitjana durant 5 s de *rebound jump*;  $P_m màx$ : potència mitjana màxima.

▲  
**Taula 1**

Mitjana (X) i desviació estàndard (DE) de les diferents variables objecte d'estudi.



◀  
**Figura 5**

Velocitat de l'esprint, calculada mitjançant model exponencial, com a funció de la velocitat real (mesura en dades brutes).  $R^2 (= 0,983)$  expressa la bondat de l'ajust de les dades obtingudes a l'equació i (x) reportada a la figura (N = 149).

	$t_{30m}$	$a_{inicial}$	$v_{1s}$	$v_{2s}$	$v_{3s}$	$v_{m\grave{a}x}$	SJ	CMJ	LJ bw	RJ 5s tc	RJ 5s pot rel	RJ 5s hcg
$a_{inicial}$	-,715											
$v_{1s}$	-,531	,813										
$v_{2s}$	-,954*	,632	,630									
$v_{3s}$	-,934	,653	,687	,996**								
$v_{m\grave{a}x}$	-,980**	,635	,562	,992**	,979*							
SJ	-,925	,398	,251	,907	,870	,941						
CMJ	-,983*	,630	,371	,902	,868	,948	,951*					
LJ bw	-,622	,980**	,711	,491	,507	,510	,288	,556				
RJ 5s tc	-,967*	,867	,645	,892	,883	,917	,801	,931	,800			
RJ 5s pot rel	-,965*	-,648	-,328	-,851	-,813	-,908	-,919	-,993	-,595	-,928		
RJ 5s hcg	-,556	,948*	,936	,550	,596	,517	,214	,425	,907	,724	-,422	
$P_m \text{ m\grave{a}x}$	,622	-,175	-,484	-,819	-,831	-,764	-,715	-,551	,017	-,477	,452	-,221

Nivells de significació:  $P < 0,05^*$ ,  $P < 0,01^{**}$ .  $t_{30m}$ : temps en 30 m;  $a_{inicial}$ : acceleració inicial;  $v_{1s}$ : velocitat instantània a 1 s;  $v_{2s}$ : velocitat instantània a 2 s;  $v_{3s}$ : velocitat instantània a 3 s;  $v_{m\grave{a}x}$ : velocitat màxima; SJ: *squat jump*; CMJ: *counter movement jump*; LJ bw: *load jump body weight* (pes corporal); RJ 5s tc: temps de contacte mitjà durant 5 s de *rebound jump*; RJ 5s pot rel: potència relativa mitjana durant 5 s de *rebound jump*; RJ 5s hcg: altura del centre de gravetat mitjana durant 5 s de *rebound jump*;  $P_m \text{ m\grave{a}x}$ : potència mitjana màxima (valor més elevat de potència mitjana).

Taula 2

Matriu de correlacions de les diferents variables objecte d'estudi

En la matriu de correlacions de la *taula 2* es pot observar que la variable que va determinar més el rendiment de l'esprint ( $t_{30m}$ ) va ser la  $v_{m\grave{a}x}$  ( $P < 0,01$ ). A més a més, la capacitat d'acceleració ( $v_{1s}$  i  $v_{3s}$ ) va presentar una elevada correlació amb la  $v_{m\grave{a}x}$  ( $P < 0,01$ ), així com la  $v_{2s}$  també va mostrar una alta correlació amb la  $v_{3s}$  ( $P < 0,01$ ). D'altra banda, una de les principals troballes d'aquest estudi va ser que la  $a_{inicial}$  també va tenir una elevada correlació amb la força dinàmica màxima relativa (LJ bw) ( $P < 0,01$ ).

Una altra troballa ressenyable va ser que el paràmetre de capacitat d'acceleració que va tenir una major relació amb el  $t_{30m}$  va ser la  $v_{1s}$  ( $P < 0,05$ ) (*taula 2*). Encara que la força elásticoexplosiva (CMJ) també va presentar una elevada correlació amb el  $t_{30m}$  ( $P < 0,05$ ). A més a més, es constata una elevada interrelació entre les manifestacions explosiva i elásticoexplosiva de la força valorada mitjançant la capacitat de salt (SJ i CMJ) ( $P < 0,05$ ). La força reactiva, mesurada a través de la potència relativa (RJ 5s<sub>pot rel</sub>) i el temps de contacte (RJ 5s<sub>tc</sub>) manifestats durant el test de salts successius (RJ 5s), va correlacionar amb el  $t_{30m}$  ( $P < 0,05$ ).

A l'últim, cal destacar que no es va trobar cap relació estadística entre la  $P_m \text{ m\grave{a}x}$  desenvolupada en mig esquat i les variables de capacitat d'acceleració, rendiment i força valorada mitjançant la capacitat de salt.

## Discussió

El coeficient de determinació obtingut en aquest estudi entre la velocitat expressada en dades brutes i

normalitzades va ser elevat ( $R^2 = 0,983$ ) i molt similar a l'obtingut per Di Prampero et al. (2005) ( $R^2 = 0,99$ ). Això probablement ha estat influenciat pel poc error sistemàtic de mesura del radar Stalker ATS system<sup>TM</sup> (STALKER, Estats Units) (Chelly & Denis, 2001; Di Prampero et al., 2005) i pels alts coeficients de determinació mostrats per l'equació exponencial (1) per descriure la corba  $v-t$  durant la fase d'acceleració de l'esprint (Chelly & Denis 2001; Di Prampero et al., 2005; Volkov & Lapin, 1979).

Una de les troballes més significatives d'aquest estudi va ser la important relació que van mostrar alguns paràmetres físics en relació amb el rendiment en l'esprint ( $t_{30m}$ ) en dones atletes de disciplines de velocitat. En aquest sentit, la  $v_{m\grave{a}x}$  és la variable que determina en major grau el  $t_{30m}$ , la qual cosa està d'acord amb allò que ha observat Letzelter (2006). Aquest resultat pot relacionar-se amb treballs recents, com per exemple el de Little i Williams (2005) o Korhonen et al. (2009), en els quals el rendiment en l'esprint es va valorar directament mitjançant el valor més elevat de  $v_{m\grave{a}x}$  i no mitjançant el temps. És a dir, la  $v_{m\grave{a}x}$  *per se* ha arribat a ser presentada com a màxim exponent del rendiment en l'esprint.

En aquest estudi, s'ha confirmat que la capacitat d'acceleració ( $v_{1s}$  i  $v_{3s}$ ) té una alta correlació amb la  $v_{m\grave{a}x}$  ( $r = 0,992$  i  $r = 0,979$ ;  $P < 0,01$ , respectivament), i està d'acord amb allò que va suggerir Letzelter (2006), qui va trobar que els esprintadors que van tenir una major  $v_{m\grave{a}x}$  tenien una major capacitat d'acceleració ( $r = 0,70$ ;  $P < 0,01$ ). A més a més, en aquest estudi no s'ha trobat



cap relació significativa entre la  $v_{i1}$  i la  $v_{m\grave{a}x}$ , la qual cosa també està d'acord amb allò que ha suggerit Letzelter (2006), segons el qual els valors inicials d'acceleració obtinguts en temps molt breus ( $\leq 1$  s) i distàncies molt curtes ( $\leq 5$  m) són menys determinants per al rendiment que els valors d'acceleració obtinguts entre els 10 i els 30 metres. No obstant això, no ha de perdre's de vista que el plantejament metodològic d'aquest estudi, pel que fa a acceleració, és similar a allò que han suggerit Murphy, Lockie i Coutts (2003), ja que la capacitat d'acceleració es va valorar mitjançant la velocitat instantània en funció del temps i no mitjançant l'acceleració en funció de la distància, tal com va fer Letzelter (2006).

En aquest treball, la relació existent entre la  $v_{i2}$  i el  $t_{30m}$  és una mostra de la interrelació que hi ha entre la capacitat d'acceleració i el  $t_{30m}$ . Tenint en compte que el valor de  $v_{i2}$  es troba entre els 5 i els 10 metres, la relació obtinguda entre la  $v_{i2}$  i el  $t_{30m}$  ( $r = -0,954$ ;  $P < 0,01$ ) està d'acord amb Nesser, Latin, Berg, & Prentice (1996) i Maulder (2005), els quals van suggerir que els velocistes més ràpids en els primers 10 metres també són els que aconsegueixen millors temps (rendiment) en 100 metres lllisos. Aquest resultat està d'acord amb allò que han apuntat diversos autors sobre l'acceleració inicial: fase d'acceleració en què té lloc una major taxa de variació de la velocitat i que té una major rellevància respecte al rendiment (temps d'esprint) (Murphy et al., 2003; Maulder, 2005; Kristensen, Van Den Tillaar, & Ettema, 2006; Maulder et al., 2006). La  $v_{i2}$  sembla coincidir amb la fase d'acceleració inicial i també presenta una gran rellevància respecte al  $t_{30m}$  i la  $v_{m\grave{a}x}$ . Així mateix, la  $v_{i2}$  sembla determinar en gran manera la  $v_{i3}$ , i per això la capacitat d'acceleració en temps breus (2 s) o *acceleració inicial* en dones atletes de disciplines de velocitat tindria una gran ascendència sobre el  $t_{30m}$ .

Els valors de  $a_{inicial}$  obtinguts en aquest estudi ( $6,61 \pm 0,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ) van ser molt similars als trobats per Chelly i Denis (2001) ( $6,40 \pm 0,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ). Malgrat que en ambdós estudis s'han utilitzat mostres molt disperses, les dones participants en aquest estudi probablement estan més familiaritzades amb el fet d'accelerar partint des d'una situació d'inèrcia que els jugadors juvenils d'handbol que van intervenir en el treball de Chelly i Denis (2001). Aquest fet explicaria la lleugera superioritat obtinguda a nivell de  $a_{inicial}$  respecte a l'obtinguda per Chelly i Denis (2001). No obstant això, tal com succeí en l'estudi de Chelly i Denis (2001), la  $a_{inicial}$  tampoc no presenta una correlació significativa respecte al  $t_{30m}$  i la  $v_{m\grave{a}x}$ .

No obstant això, la  $a_{inicial}$  sí que va mostrar una alta correlació significativa amb la força dinàmica màxima relativa, valorada mitjançant l'altura de salt aconseguida en el LJ bw ( $r = 0,980$ ;  $P < 0,01$ ). Són nombrosos els autors que han suggerit una vinculació entre la força dinàmica màxima relativa i l'acceleració (Vittori, 1990; Verkhoshansky, 1996a; Delecluse et al., 1995; Hoff & Helgerud, 2004; Wisløff et al., 2004; McBride et al., 2009). No obstant això, ha de precisar-se que en la majoria d'aquests estudis, en què es van trobar relacions entre l'acceleració i la força dinàmica màxima relativa, es van utilitzar parcials de temps o velocitat i la força desenvolupada en mig esquat, en comptes de la  $a_{inicial}$  i l'altura obtinguda en el LJ bw. En aquest treball, la  $a_{inicial}$  respon a l'acceleració obtinguda en temps molt breus (1 s) i/o distàncies molt curtes ( $< 5$  m), és a dir, correspon a la fase compresa entre la sortida de tacs i el primer suport. Atès que els temps de contacte sobre els tacs de sortida (447 ms) (Fortier, Basset, Mbourou, Favérial, & Teasdale, 2005) i del primer pas són relativament elevats (260 ms) i la fase d'impulsió representa el 81,1 % del total del suport (Mero, 1988), hi ha temps suficient perquè la força dinàmica màxima relativa arribi a manifestar-se i per tant aquesta manifestació sembla determinar el rendiment durant la  $a_{inicial}$  (Vittori, 1990).

D'altra banda, les manifestacions elásticoexplosives de la força, valorades a través de l'altura obtinguda en CMJ, semblen guardar una estreta relació amb el rendiment en tot tipus d'esprints i en qualsevol de les fases d'aquest (Bret et al., 2002), i molt especialment amb les fases d'acceleració (Mero et al., 1983; Maulder et al., 2006). Possiblement, en els suports fets durant la fase d'acceleració, es dona una successió de cicles d'estirada-escurçada (Komi, 1984) "lenta" (per sobre de 200 ms) (Schmidtbleicher, 2000) que possibiliten l'emmagatzemament i posterior restitució d'energia elàstica (Cavagna, Komarek, & Mazzoleni, 1971) de la mateixa manera que succeeix en un CMJ. Això explicaria l'elevada correlació obtinguda entre el CMJ i el  $t_{30m}$  tant en aquest estudi com en anteriors (Hennessy & Kilty, 2001).

L'altura aconseguida en el CMJ va estar altament relacionada amb l'altura aconseguida en el SJ ( $r = 0,951$ ;  $P < 0,05$ ). Kubo, Kawakami i Fukunaga (1999) ja van apuntar que l'altura de salt aconseguida en SJ i CMJ semblava dependre, entre d'altres, de dos factors comuns: àrea de secció transversal muscular i força desenvolupada durant el moviment balístic. A partir d'aquí, la diferència de rendiment entre el SJ i el CMJ sembla que pot explicar-se per l'emmagatzemament i posterior restitució

d'energia elàstica (Cavagna et al., 1971), pel reflex mio-tàtic (Carlock et al., 2004) o per permetre un major estat de preactivació (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van-Soest, 1996). En resum, sembla que la força explosiva, valorada mitjançant l'altura obtinguda en un SJ, podria compartir certs mecanismes de desenvolupament del rendiment amb la força elásticoexplosiva (CMJ) que podrien explicar l'elevada correlació significativa obtinguda entre ambdues.

Probablement, l'homogeneïtat, així com la grandària de la mostra, poden ser les raons principals de les correlacions trobades entre el  $t_{30m}$  i el RJ  $5s_{ic}$  i RJ  $5s_{pot\ rel}$  ( $r = -0,967$  i  $r = 0,965$ , respectivament). No obstant això, també s'ha de tenir en compte que, tal com s'ha apuntat anteriorment, seguint el model proposat per Vittori (1990), les manifestacions màxima dinàmica relativa i explosiva (elàstica) de la força semblen ser preponderants en esprints equivalents a 30 metres. No així les manifestacions reflexes, que no semblen ser rellevants entre els 10 i els 30-40 metres d'esprint (Rimmer & Sleivert, 2000).

També la relació obtinguda entre la  $a_{inicial}$  i el RJ  $5s_{heg}$  sembla difícil d'explicar atès que durant la fase inicial d'acceleració (tal com s'entén en aquest treball) pràcticament no es pot manifestar l'expressió reflexa de la força, ja que els temps de contacte són relativament elevats (Vittori, 1990). No obstant això, diversos autors (Delecluse et al., 1995; Rimmer & Sleivert, 2000) van observar millores en la fase d'acceleració inicial (0-10 m) després d'un període d'entrenament basat en el desenvolupament de les manifestacions reactives de la força mitjançant exercicis de "pliomètria". Aquests autors van atribuir aquesta millora al fet que els temps de contacte obtinguts durant l'inici d'un esprint són similars als obtinguts en exercicis pliòmètrics. Aquestes explicacions han d'utilitzar-se amb cautela quant a la relació trobada en aquest treball entre la  $a_{inicial}$  i el RJ  $5s_{heg}$ . En primer lloc, en els estudis esmentats (Delecluse et al., 1995; Rimmer & Sleivert, 2000) les mostres es componien d'estudiants d'educació física i esportistes recreacionals i, en segon lloc, els temps de contacte obtinguts en els exercicis pliòmètrics probablement eren superiors (en alguns casos es van fer sobre gespa) als obtinguts en aquest treball (RJ  $5s$  sobre superfície sintètica,  $171 \pm 22$  ms), i per això possiblement només es van obtenir millores dels cicles d'estirada-escurçada (Komi, 1984) "lents" (per sobre de 200 ms) (Schmidtbleicher, 2000). D'aquesta manera seria un increment de la força elásticoexplosiva la que es relacionaria amb les millores del rendiment en l'acceleració inicial. Per tant, la relació entre la  $a_{inicial}$  i el RJ  $5s_{heg}$ , en el qual sí que es manifesta

la força de caràcter reflex (Locatelli, 1996), només podria explicar-se, parcialment, per la necessitat que es presenta, tant en exercicis pliòmètrics de salt (ex.: RJ  $5s$ ) com en la fase d'acceleració, de crear grans acceleracions de tota la massa corporal (Delecluse et al., 1995).

A l'últim, la falta de relació entre la  $P_m\ màx$  i la resta de paràmetres avaluats pot ser deguda al fet que les proves de potència tenen una major correlació amb els esprints llargs (> 40 m). A més a més, això podria ser degut al fet que els temps de contacte són més curts, i per tant la velocitat d'escurçada dels sarcòmers més ràpida, en esprints llargs (Juárez & Navarro, 2007).

## Conclusions

En aquest treball la  $v_{màx}$  és el principal paràmetre determinant del rendiment ( $t_{30m}$ ) en dones atletes d'especialitats de velocitat. També la capacitat d'acceleració, sobretot l'acceleració inicial ( $v_{i2}$ ) i la força elásticoexplosiva (CMJ) tenen una gran correlació amb el  $t_{30m}$  i la  $v_{màx}$ . La  $a_{inicial}$  està altament determinada per la força dinàmica màxima (LJ *bw*) encara que la seva relació amb el  $t_{30m}$  no va ser significativa. Finalment, sembla necessari aclarir en futurs treballs, amb una major mostra d'estudi, quina és la relació real entre la manifestació reflexa de la força (RJ  $5s$ ), la  $P_m\ màx$  desenvolupada en mig esquat i el  $t_{30m}$ .

## Referències

- Atkinson, G., & Reilly, T. (1996). Circadian variation in sports performance. *Sports Medicine*, 21(4), 292-312. doi:10.2165/00007256-199621040-00005
- Bassett, D. R. Jr. (2002). Scientific Contributions of A. V. Hill: Exercise Physiology Pioneer. *Journal of Applied Physiology*, 93(5), 1567-1582.
- Bobbert, M. F., Gerritsen, K. G. M., Litjens, M. C. A., & Van-Soest, A. J. (1996). Why is countermovement jump height greater than squat jump height? *Medicine and Science of Sport and Exercise*, 28(11), 1402-1412. doi:10.1097/00005768-199611000-00009
- Bosco, C. (2000). *La fuerza muscular. Aspectos metodológicos*. Barcelona: Inde.
- Bret, C., Rahmani, A., Dufour, A. B., Mesonnier, L., & Lacour, J. R. (2002). Leg strength and stiffness as ability factors in 100m sprint running. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 42(3), 274-281.
- Cavagna, G. A., Komarek, L., & Mazzoleni, S. (1971). The mechanics of sprint running. *The Journal of Physiology*, 217(3), 709-721.
- Carlock, J. M., Smith, S. L., Hartman, M. J., Morris, R. T., Ciroslan, D. A., & Pierce, K. C. (2004). The relationship between vertical jump power estimates and weightlifting ability: A field test approach. doi:10.1519/00124278-200408000-00025 *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 534-539.
- Chainok, P. (2006). *Kinematic Parameters of the Sprint Start* (MSc Thesis). Mahidol University, Thailand.
- Chelly, S. M., & Denis, C. (2001). Leg power and hopping stiffness: Relationship with sprint running performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33(2), 326-333. doi:10.1097/00005768-200102000-00024



- Dawson, B., Goodman, C., Lawrence, S., Preen, D.; Polglaze, T., Fitzsimons, M., & Fournier, P. (1997). Muscle phosphocreatine depletion following single and repeated short sprint efforts. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 7(4), 206-213. doi:10.1111/j.1600-0838.1997.tb00141.x
- Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Van Leemputte, M., Diels, R., & Goris, M. (1995). Influence of high resistance and high-velocity training on sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27(8), 1203-1209. doi:10.1249/00005768-199508000-00015
- Di Prampero, P. E., Fusi, S., Sepulcri, L., Morin, J. B., Belli, A., & Antonutto, G. (2005). Sprint running: A new energetic approach. *The Journal of Experimental Biology*, 208, 2809-2816. doi:10.1242/jeb.01700
- Fortier, S., Basset, F. A., Mbourou, G. A., Favérial, J., & Teasdale, N. (2005). Starting block performance in sprinters: A statistical method for identifying discriminative parameters of the performance and an analysis of the effect of providing feedback over a 6-week period. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4(2), 134-143.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Irbarren, J., González-Badillo, J. J., & Ibáñez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 91(5-6), 698-707. doi:10.1007/s00421-003-1032-y
- Habibi, A., Shabani, M., Rahimi, E., Fatemi, R., Najafi, A., Analoei, H., & Hosseini, M. (2010). Relationship between jump test results and acceleration phase of sprint performance in national and regional 100m sprinters. *Journal of Human Kinetics*, 23, 29-35. doi:10.2478/v10078-010-0004-7
- Hennessy, L., & Kilty, J. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *Journal Strength and Conditioning Research*, 15(3), 326-331. doi:10.1519/00124278-200108000-00011
- Henry, F., & Trafton, I. (1951). The Velocity Curve of Sprint Running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 22(4), 409-422.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players. Physiological considerations. *Journal of Sports Medicine*, 34(3), 165-180. doi:10.2165/00007256-200434030-00003
- Juárez, D., & Navarro, F. (2007). El entrenamiento de la fuerza explosiva para el salto, la aceleración, el lanzamiento y el golpeo. *PubliCE Standard*. Pid: 881.
- Kale, M., Aşçi, A., Bayrak, C., & Açıkada, C. (2009). Relationships Among Jumping Performances and Sprint Parameters During Maximum Speed Phase in Sprinters. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(8), 2272-2279. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b3e182
- Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed, 12(1), 81-121. *Exercise and Sports Sciences Reviews*.
- Korhonen, M. T., Mero, A., Alén, M., Sipilä, S., Häkkinen, K., Liikavainio, T., ... Suominen, H. (2009). Biomechanical and Skeletal Muscle Determinants of Maximum Running Speed with Aging. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(4), 844-856. doi:10.1249/MSS.0b013e3181998366
- Kristensen, G. O., Van Den Tillaar, R., & Ettema, G. J. C. (2006). Velocity specificity in early-phase sprint training. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(4), 833-837. doi:10.1519/00124278-200611000-00018
- Kubo, K., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *Journal of Applied Physiology*, 87(6), 2090-2096.
- Letzelter, S. (2006). The development of velocity in sprints: A comparison of elite and juvenile female sprinters. *New Studies in Athletics*, 21(3), 15-22.
- Little, T., & Williams, A. G. (2005). Specificity of acceleration, maximum speed, and agility in professional soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 76-78. doi:10.1519/00124278-200502000-00013
- Locatelli, E. (1996). The importance of anaerobic glycolysis and stiffness in the sprints (60, 100 and 200 metres). *New Studies in Athletics*, 11(2-3), 121-125.
- Maulder, P. S. (2005). *The Physical Power Pre-requisites and Acute Effects of Resisted Sled Loading on Sprint Running Kinematics of the Early Acceleration Phase from Starting Blocks* (MSc Thesis). Auckland University, New Zealand.
- Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. (2006). Jump kinetic determinants of sprint acceleration performance from starting blocks in male sprinters. *Journal of Sports Science and Medicine*, 5(2), 359-366.
- McBride, J. M., Blow, D., Kirby, T. J., Haines, T. L., Dayne, A. M., & Triplett, N. T. (2009). Relationship between maximal squat strength and five, ten, and forty yard sprint times. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(6), 1633-1636. doi:10.1519/JSC.0b013e3181b2b8aa
- Mero, A., Luhtanen, P., & Komi, P. V. (1983). A biomechanical study of the sprint start. *Scandinavian Journal of Sports Science*, 5(1), 20-28.
- Mero, A. (1988). Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 59(2), 94-98.
- Murphy, A. J., Lockie, R. G., & Coutts, A. (2003). Kinematic determination of early acceleration in field sport athletes. *Journal of Sports Science and Medicine*, 2(4), 144-150.
- Nesser, T. W., Latin, R. W., Berg, K., & Prentice, E. (1996). Physiological determinants of 40-meter sprint performance in young male athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 10(4), 263-267. doi:10.1519/00124278-199611000-00010
- Padullés, J. M. (2010). *Valoración de los parámetros de carrera. Desarrollo de un nuevo instrumento de medición* (Tesi doctoral). Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, Barcelona.
- Rimmer, E., & Sleivert, G. (2000). Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 14(3), 295-301. doi:10.1519/00124278-200008000-00009
- Sleivert, G., & Taingahue, M. (2004). The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *European Journal of Applied Physiology*, 91(1), 46-52. doi:10.1007/s00421-003-0941-0
- Schmidtbleicher, D. (2000). Ciclo estiramiento-acortamiento del sistema neuromuscular: desde la investigación hasta la práctica del entrenamiento. Resúmenes del *1r Simposio Internacional de Fuerza y Potencia Relacionadas con los Deportes, la Actividad Física, el Fitness y la Rehabilitación*, 47-53.
- Spinks, C. D., Murphy, A. J., Spinks, W. L., & Lockie, R. G. (2007). The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and Australian football players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(1), 77-85. doi:10.1519/00124278-200702000-00015
- Verkhoshansky, Y. V. (1996a). Quickness and velocity in sports movements. *New Studies in Athletics*, 11(2-3), 29-37.
- Verkhoshansky, Y. V. (1996b). Principles of a rational organization of the training process aimed at speed development. *New Studies in Athletics*, 11(2-3), 155-160.
- Vittori, C. (1990). L'allenamento della forza nello sprint. *Atletica Studi*, 1(2), 3-25.
- Volkov, N. L., & Lapin, V. L. (1979). Analysis of the velocity curve in sprint running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 11(4), 332-337. doi:10.1249/00005768-197901140-00004
- Wisløff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal of Sports Medicine*, 38(3), 285-288. doi:10.1136/bjsm.2002.002071
- Young, W. (1995). Laboratory strength assessment of athletes. *New Studies in Athletics*, 10(1), 89-96.