

Análisis de la capacidad de aceleración en mujeres atletas de modalidades de velocidad

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

Departamento de Farmacología y Fisiología
Facultad de Medicina
Universidad de Zaragoza

Correspondencia con autor

Gerard Carmona Dalmases
gercd1@gmail.com

Resumen

Objetivos. Caracterizar la capacidad de aceleración con relación al rendimiento (tiempo en *sprint* de 30 m), la velocidad máxima y las manifestaciones de fuerza (capacidad de salto) y potencia (en $\frac{1}{2}$ *squat*) musculares en 4 mujeres atletas de especialidades de velocidad de nivel nacional. **Métodos.** Se realizaron dos días de pruebas (pista y laboratorio). Se valoró la capacidad de aceleración (velocidades instantánea a 1, 2 y 3 s $-v_{i1}$, v_{i2} y v_{i3}), aceleración inicial ($a_{inicial}$), tiempo de *sprint* en 30 m (rendimiento), velocidad máxima (v_{max}), capacidad de salto (SJ, CMJ, LJ bw y RJ 5s) y potencia media máxima (P_m máx) desarrollada en $\frac{1}{2}$ *squat*. **Resultados.** Se hallaron correlaciones significativas entre el rendimiento (t_{30m}) y la v_{max} ($r = -0,980$; $P < 0,01$), la capacidad de aceleración (velocidades instantáneas) y el t_{30m} ($r = -0,954$; $P < 0,05$) y la v_{max} ($r = 0,992$ y $0,979$; $P < 0,01$ y $0,05$), la manifestación elástica de la fuerza (CMJ) y el t_{30m} ($r = -0,983$; $P < 0,05$) y la fuerza dinámica máxima relativa y la $a_{inicial}$ ($r = 0,980$; $P < 0,01$). **Conclusiones.** El principal hallazgo del presente estudio fue que la v_{max} era el mayor determinante del t_{30m} . También la capacidad de aceleración, sobretodo la v_{i2} , y el CMJ tuvieron una gran ascendencia sobre el t_{30m} y la v_{max} .

Palabras clave: *sprint*, capacidad de aceleración, velocidad máxima, fuerza, curva velocidad-tiempo

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_{i1} , v_{i2} and v_{i3})), 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_{i2} , and CMJ had a great influence on t_{30m} and v_{max} .

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

Introducción

Desde un punto de vista condicional, la velocidad (movimientos en los que se debe vencer una resistencia importante con una considerable contribución energética) y la rapidez (movimiento aislado, veloz,

de baja contribución energética sin una resistencia a vencer) (Verkhoshansky, 1996a) determinan el rendimiento en la mayoría de deportes (Verkhoshansky, 1996b). No obstante, se ha sugerido que la velocidad máxima (v_{max}) y especialmente la capacidad de

aceleración son los parámetros más determinantes del rendimiento en la mayoría de especialidades deportivas (Murphy, Lockie, & Coutts, 2003). Además, el paradigma de la velocidad en el deporte es el *sprint*, por lo tanto, es importante conocer los parámetros que lo determinan.

En la literatura especializada existen diferentes estudios en los que se han encontrado relaciones entre algunas capacidades condicionales y el *sprint*. Para ser más precisos, algunos autores han mostrado relaciones entre la capacidad de salto y el *sprint* ($r = 0,70$; $P < 0,01$) (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, Aşçi, Bayrak, & Açıka-da, 2009) ($r = -0,89$; $P < 0,01$) (Habibi et al., 2010). Otros han encontrado una relación entre la fuerza dinámica máxima relativa y/o la potencia (media y/o pico), en un ejercicio de *squat*, con el *sprint* ($r = 0,74$; $P < 0,001$) (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). También se ha sugerido que la $v_{m\acute{a}x}$ es la variable que mayor relación tiene con el *sprint* ($r = 0,98$; $P < 0,01$) (Letzelter, 2006). Por último, otra variable que se ha relacionado con el *sprint* es la capacidad de aceleración. Más concretamente, Letzelter (2006) encontró una relación entre la capacidad de aceleración (tiempo en 10 m) y el rendimiento (tiempo en 100 m) en mujeres velocistas juveniles de élite ($r = 0,70$; $P < 0,01$) mientras que Little y Williams (2005) encontraron una relación entre la capacidad de aceleración (tempo en 10 m) y la $v_{m\acute{a}x}$ ($r = 0,62$; $P < 0,001$).

En los últimos años el análisis de la capacidad de aceleración se halla muy en boga (Maulder, 2005; Spinks, Murphy, Spinks, & Lockie, 2007), debido a que se ha observado que en numerosas disciplinas deportivas, prima la consecución de elevadas tasas de incremento de velocidad específica en muy breves lapsos de tiempo (Murphy et al., 2003). La capacidad de aceleración ha sido estudiada mediante diferentes conceptos a partir de la curva velocidad-tiempo (c. $v-t$). Ya en 1927, el fisiólogo A.V. Hill, utilizó un oscilógrafo para realizar un registro de valores de tiempo para obtener la aceleración en un grupo de *sprinters* (Basset, 2002). Henry y Trafton (1951) utilizaron un sistema precursor de las

células fotoeléctricas para la representación de la c. $v-t$ con el fin de establecer constantes de aceleración que permitieran realizar predicciones de la velocidad. Años después, Volkov y Lapin (1979) utilizando una versión mejorada del velocímetro (*Dinamógrafo*) desarrollado por Abalakov en 1960, realizaron un registro continuo de la velocidad. Estos autores propusieron una ecuación para representar la c. $v-t$ en aquellas carreras en que no se produce una pérdida significativa de velocidad (fase de deceleración) (1):

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

Chelly y Denis (2001) obtuvieron la aceleración inicial ($a_{inicial}$) a partir del ratio $v_{m\acute{a}x} \cdot \tau^{-1}$ de la ecuación de la velocidad (1) en la que τ es la constante de tiempo. Di Prampero et al. (2005) en un estudio realizado con *sprinters* de 100 m, de nivel medio ($11,30 \pm 0,35$ s), analizó la capacidad de aceleración mediante el valor más elevado de aceleración horizontal instantánea. Dicho valor se halló a los 0,2 s de la puesta en acción ($6,42 \pm 0,61$ m · s⁻²). La obtención de la aceleración instantánea se realizó mediante la derivada de la ecuación de la velocidad (1). Dado que el modelo exponencial permite conocer múltiples valores de velocidad instantánea, la distancia puede conocerse mediante la integral de la ecuación anteriormente descrita (2):

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

A pesar de que existen algunos estudios sobre la capacidad de aceleración en mujeres (Chainok, 2006; Letzelter, 2006), en ninguno de ellos se ha analizado esta capacidad a partir de la normalización de la velocidad realizada mediante la ecuación (1). Chelly y Denis (2001) obtuvieron la $a_{inicial}$ en jugadores de balonmano y Di Prampero et al. (2005), tal y como se ha apuntado anteriormente, obtuvieron la aceleración horizontal instantánea de *sprinters* masculinos. Asimismo, en mujeres, no se ha establecido ningún tipo de relación entre la capacidad de aceleración y otras variables determinantes del rendimiento en el *sprint*.

Por lo tanto, el objetivo del presente estudio fue caracterizar la capacidad de aceleración con relación al rendimiento (tiempo en *sprint* de 30 m), la velocidad máxima y las manifestaciones de fuerza (capacidad de salto) y potencia (en $\frac{1}{2}$ *squat*) musculares en mujeres atletas de especialidades de velocidad.

Material y métodos

Participantes

Cuatro atletas velocistas de sexo femenino (edad: $21,8 \pm 3,9$ años; masa corporal: $57,0 \pm 6,8$ kg; mejor marca personal en 100 m: $12,16 \pm 0,18$ s) se les informó previamente del protocolo de estudio y dieron su consentimiento voluntario a participar en el mismo. El estudio respetó los principios éticos de la declaración de Helsinki para la investigación biomédica. Las atletas se encontraban en una fase de preparación específica en sus distintos planes de entrenamiento y estaban familiarizadas con las diferentes pruebas que se realizaron en el presente estudio.

Protocolos de estudio

Se realizaron dos días consecutivos de pruebas, el primer día se desarrollaron las pruebas en pista y el segundo día las pruebas en laboratorio. Todas las pruebas fueron realizadas en la misma franja horaria (18-20 h), con el fin de controlar el efecto de los biorritmos sobre el rendimiento de las deportistas (Atkinson & Reilly, 1996).

Pruebas en pista

Tras un calentamiento de 10 min de carrera continua, ejercicios de técnica de carrera, multisaltos y carreras progresivas de 50 m, las atletas realizaron 3 *sprints* de 30 m a máxima velocidad, con salida desde tacos sobre una pista de tartán MondoTrack™ (MONDO, Italia). Se marcó la distancia de 30 m mediante una línea de salida y dos picas paralelas en la llegada. Las atletas colocaron los tacos en función de sus preferencias (salida amplia, media o agrupada). El tiempo de descanso entre los *sprints* fue de más de 5 min para asegurar la recuperación (Dawson et al., 1997). Para calcular los tiempos de cada uno de los *sprints* se realizó un recuento de *frames* (Padullés, 2010) mediante el programa Kinovea® (*Free software* versión 0.8.7) de una filmación a alta velocidad (210 fps) (Casio Exilim™ Ex-Fc100, CASIO, Japón), realizada desde el inicio del movimiento de la atleta hasta su llegada a la marca de 30 m (*fig. 1*). Se escogió el mejor tiempo (t_{30m}) de los tres *sprints* realizados por cada atleta.

La velocidad del mejor *sprint* se registró mediante un radar Stalker ATS system™ (STALKER, Estados Unidos), que ha demostrado tener una buena fiabilidad

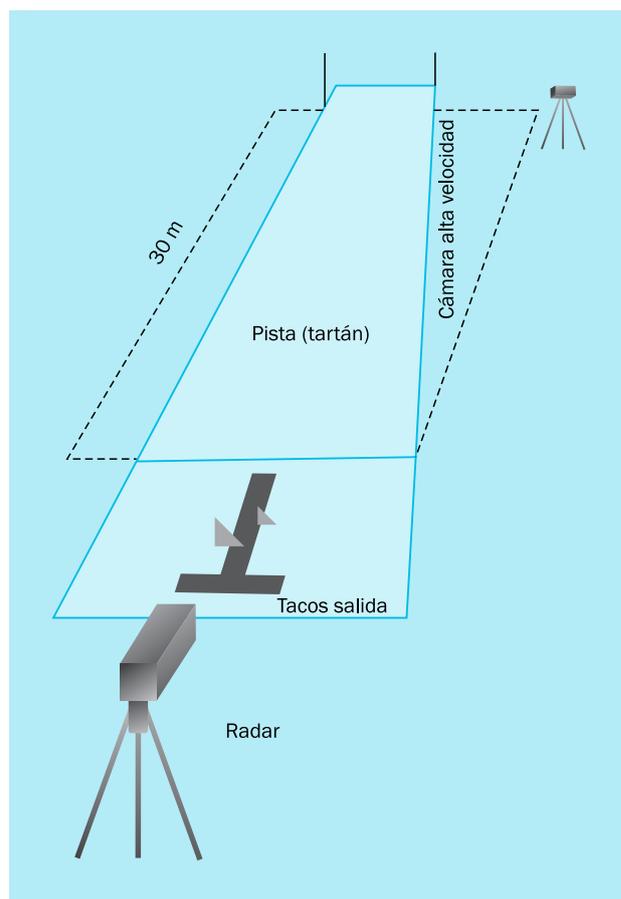


Figura 1
Diagrama de la disposición del estudio durante las pruebas en pista

(Chelly & Denis, 2001; Di Prampero et al., 2005). La frecuencia de muestreo era de 30 Hz (0,033 s), lo que permitió registrar la velocidad de manera continua. De esta forma se pudo hallar la velocidad instantánea (v_i), como medida de la velocidad en un tiempo próximo a cero (0,01 s). El radar estaba conectado a un ordenador personal mediante el cual se obtuvieron los datos brutos de la $c. v-t$. La normalización de los datos obtenidos se realizó mediante la aplicación de la ecuación exponencial (Chelly & Denis, 2001; Di Prampero et al., 2005) propuesta por Volkov y Lapin (1979) para el análisis de la fase de aceleración:

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

donde τ es la constante tiempo, la cual se calculó mediante el programa de análisis de curvas KaleidaGraph™ (SYNERGY, Estados Unidos) (*fig. 2*).

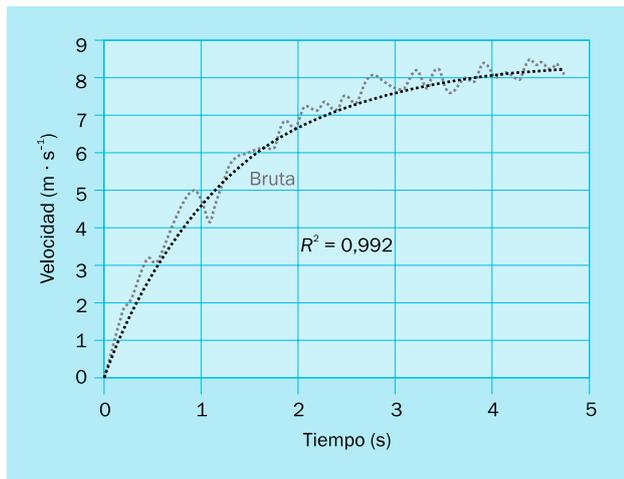


Figura 2
Curva bruta $v-t$ obtenida mediante el radar (curva gris) durante el sprint de 30 m de una de las participantes. C. $v-t$ normalizada mediante la ecuación exponencial de la fase de aceleración (curva negra)

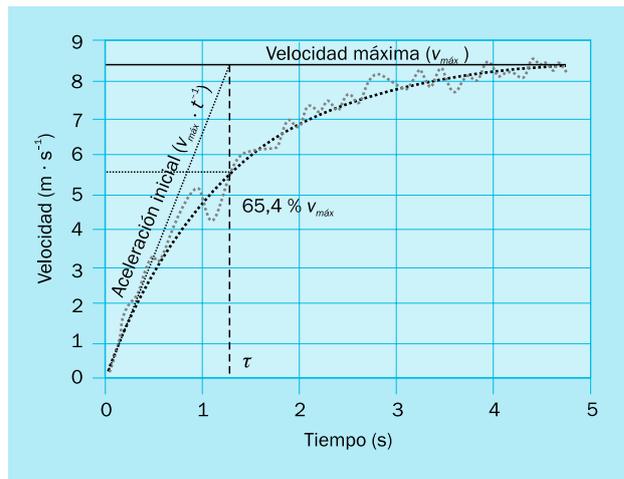


Figura 3
C. $v-t$ (bruta y normalizada) y $a_{inicial}$ como relación de la $v_{máx}$ y la constante τ de una de las participantes

La velocidad máxima ($v_{máx}$) se obtuvo seleccionando el valor más elevado de velocidad normalizada de la c. $v-t$. Además, la aceleración inicial ($a_{inicial}$) se calculó mediante el ratio $v_{máx} \cdot \tau^{-1}$ (Chelly & Denis, 2001) (fig. 3).

También se cuantificó la capacidad de aceleración mediante la v_i registrada en valores de tiempo elegidos arbitrariamente (1, 2 y 3 s con lo que se obtuvieron tres velocidades instantáneas v_{i1} , v_{i2} y v_{i3} , respectivamente)

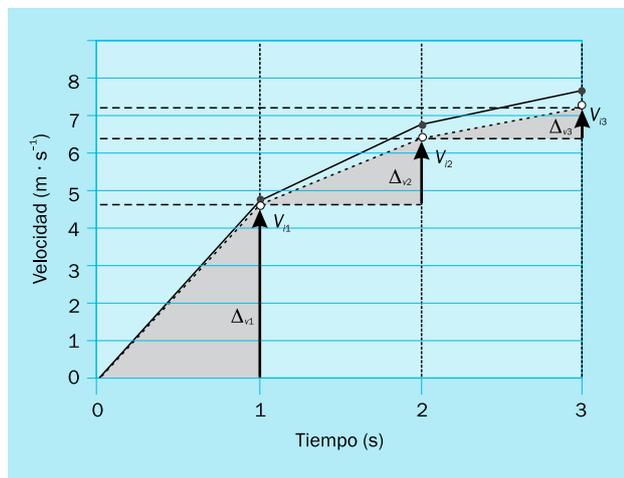


Figura 4
Valores de v_{i1} , v_{i2} y v_{i3} de dos ejemplos (○ y ●) reales. Los incrementos de velocidad entre lapsos de tiempo (Δv) reflejan la aceleración conseguida por una de las atletas. Se puede observar cómo la mayor aceleración se produce en el valor de tiempo menor (1 s)

(fig. 4). Al tratarse de valores de tiempo relativamente bajos, representan una zona de la c. $v-t$ en la que mayor tasa de variación de la velocidad se manifiesta: el inicio del *sprint* o puesta en acción (salida de tacos) y la fase de aceleración en carrera.

Pruebas de laboratorio

Tras un calentamiento de 10 min de carrera continua y ejercicios submáximos de $\frac{1}{2}$ *squat* (5-6 repeticiones con 30, 50 y 70 kg), las atletas realizaron una prueba de cargas progresivas en $\frac{1}{2}$ *squat* mediante una barra libre y discos Salter™ (SALTER, España). La prueba empezó con una carga externa de 50 kg, tras 5 min de recuperación pasiva entre series, la carga se incrementó en 20 kg hasta que una de las cargas provocó un descenso de la potencia media máxima ($P_m máx$). Cada atleta realizó 2-3 repeticiones, de las que solo se registró el mejor resultado de $P_m máx$ producida a lo largo de la extensión de piernas hasta 180°. La producción de potencia mecánica se midió mediante un encoder lineal cuya señal fue procesada mediante el sistema MuscleLab™ 4000e (ERGOTEST, Noruega). Mediante esta prueba se calculó el valor de $P_m máx$ y se interpoló la carga, expresada en Newton (N), con la que se había obtenido la misma.

Después de 15 min de haber finalizado la primera prueba de laboratorio se procedió a la realización de una batería de pruebas de salto en el siguiente orden: *Squat Jump* (SJ) (Vittori, 1990), *Counter Movement Jump* (CMJ) (Young, 1995), *Load Jump* peso corporal (LJ bw)

(Gorostiaga et al., 2004) y *Rebound Jump 5 s* (RJ 5s) (Locatelli, 1996). La altura obtenida en dichos saltos se utilizó para la valoración indirecta de la fuerza explosiva (SJ), elástico-explosiva (CMJ), dinámica máxima relativa (LJ *bw*), y reactiva (RJ 5s). En cada uno de los saltos cada atleta realizó 2-3 intentos de los que se registró el mejor resultado, es decir, la mayor altura de vuelo (cm). Además entre cada uno de los diferentes tipos de salto se realizó una recuperación de 3 min. En la prueba de RJ 5s se calculó el promedio de la altura, de la potencia relativa y del tiempo de contacto. La altura de vuelo (y en el caso del RJ 5s también la potencia relativa y el tiempo de contacto) de todas las pruebas de salto se obtuvo mediante una plataforma de contactos ErgoJump™ (BOSCO SYSTEM, Italia) cuya señal fue procesada mediante el sistema MuscleLab™ (ERGOTEST, Noruega).

Análisis estadístico

Los resultados se expresaron como $X \pm DE$. La normalidad de la muestra se calculó mediante el test de Shapiro-Wilk. La relación de la capacidad de aceleración ($a_{inicial}$, v_{i1} , v_{i2} y v_{i3}) con las variables rendimiento (t_{30m}), manifestación de la fuerza expresada a través de la capacidad de salto (SJ, CMJ, LJ *bw*, RJ 5s) y potencia en $\frac{1}{2}$ *squat* (P_m *máx*) se calculó mediante la correlación de Pearson. El nivel de significación se estableció en $P < 0,05$. Todos los cálculos se realizaron mediante el programa StatPlus®:mac (ANALYSTSOFT, Estados Unidos).

Resultados

Los resultados de todos los parámetros estudiados en el presente estudio se pueden observar en la *tabla 1*.

La velocidad expresada en datos brutos en relación con la expresada en datos normalizados mostró tener un elevado coeficiente de determinación, como se muestra en la *figura 5*.

Variable	$X \pm DE$
t_{30m} (s)	4,6 \pm 0,1
$a_{inicial}$ ($m \cdot s^{-2}$)	6,6 \pm 0,2
v_{i1} ($m \cdot s^{-1}$)	4,8 \pm 0,1
v_{i2} ($m \cdot s^{-1}$)	6,6 \pm 0,2
v_{i3} ($m \cdot s^{-1}$)	7,5 \pm 0,2
$v_{máx}$ ($m \cdot s^{-1}$)	8,1 \pm 0,3
SJ (cm)	42,3 \pm 2,4
CMJ (cm)	44,1 \pm 3,3
LJ <i>bw</i> (cm)	16,3 \pm 2,6
RJ 5s tiempo contacto (ms)	171,0 \pm 21,9
RJ 5s potencia relativa ($w \cdot kg^{-1}$)	67,0 \pm 5,1
RJ 5s hcg (cm)	45,3 \pm 2,5
P_m <i>máx</i> (w)	1.136 \pm 191

t_{30m} : tiempo en 30 m; $a_{inicial}$: aceleración inicial; v_{i1} : velocidad instantánea a 1 s; v_{i2} : velocidad instantánea a 2 s; v_{i3} : velocidad instantánea a 3 s; $v_{máx}$: velocidad máxima; SJ: *squat jump*; CMJ: *counter movement jump*; LJ *bw*: *load jump body weight* (peso corporal); RJ 5s tiempo de contacto: tiempo de contacto medio durante 5 s de *rebound jump*; RJ 5s potencia relativa: potencia relativa media durante 5 s de *rebound jump*; RJ 5s hcg: altura del centro de gravedad media durante 5 s de *rebound jump*; P_m *máx*: potencia media máxima.

Tabla 1
Media (X) y desviación estándar (DE) de las distintas variables objeto de estudio

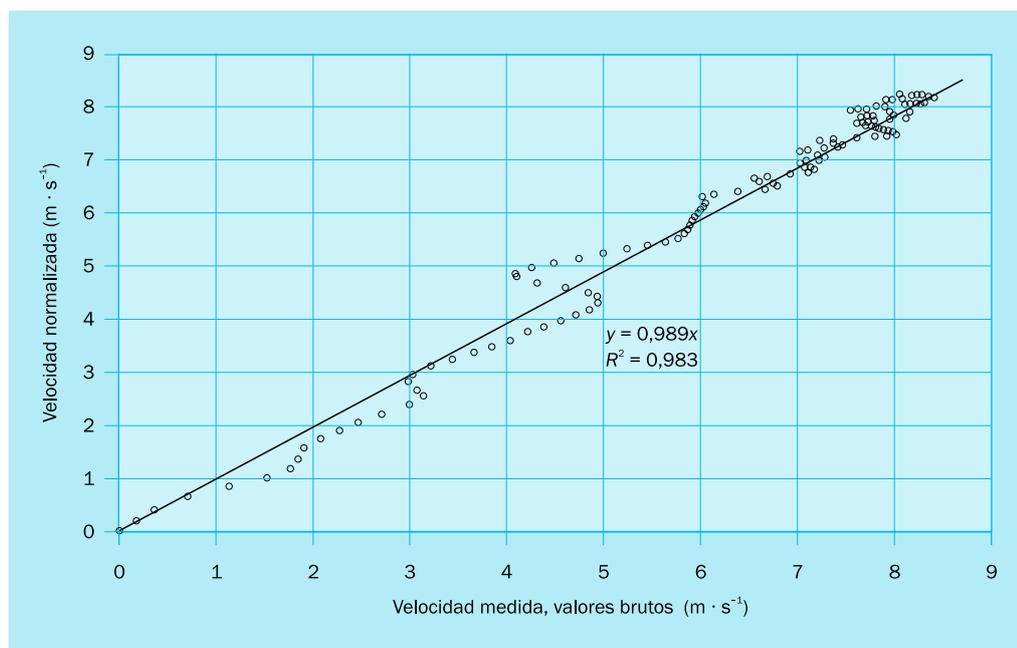


Figura 5
Velocidad del sprint, calculada mediante modelo exponencial, como función de la velocidad real (medida en datos brutos). $R^2 = 0,983$ expresa la bondad del ajuste de los datos obtenidos a la ecuación y (x) reportada en la figura ($N = 149$).

	t_{30m}	$a_{inicial}$	v_{11}	v_{12}	v_{13}	$v_{máx}$	SJ	CMJ	LJ bw	RJ 5s tc	RJ 5s pot rel	RJ 5s hcg
$a_{inicial}$	-,715											
v_{11}	-,531	,813										
v_{12}	-,954*	,632	,630									
v_{13}	-,934	,653	,687	,996**								
$v_{máx}$	-,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	
$P_m máx$,622	-,175	-,484	-,819	-,831	-,764	-,715	-,551	,017	-,477	,452	-,221

Niveles de significación: $P < 0,05^*$, $P < 0,01^{**}$. t_{30m} : tiempo en 30 m; $a_{inicial}$: aceleración inicial; v_{11} : velocidad instantánea a 1 s; v_{12} : velocidad instantánea a 2 s; v_{13} : velocidad instantánea a 3 s; $v_{máx}$: velocidad máxima; SJ: *squat jump*; CMJ: *counter movement jump*; LJ bw: *load jump body weight* (peso corporal); RJ 5s tc: tiempo de contacto medio durante 5 s de *rebound jump*; RJ 5s pot rel: potencia relativa media durante 5 s de *rebound jump*; RJ 5s hcg: altura del centro de gravedad media durante 5 s de *rebound jump*; $P_m máx$: potencia media máxima (valor más elevado de potencia media).

Tabla 2

Matriz de correlaciones de las diferentes variables objeto de estudio

En la matriz de correlaciones de la *tabla 2* se puede observar que la variable que determinó más el rendimiento del *sprint* (t_{30m}) fue la $v_{máx}$ ($P < 0,01$). Además, la capacidad de aceleración (v_{12} y v_{13}) presentó una elevada correlación con la $v_{máx}$ ($P < 0,01$) así como la v_{12} también mostró una alta correlación con v_{13} ($P < 0,01$). Por otra parte, uno de los principales hallazgos del presente estudio fue que la $a_{inicial}$ también tuvo una elevada correlación con la fuerza dinámica máxima relativa (LJ bw) ($P < 0,01$).

Otro hallazgo reseñable fue que el parámetro de capacidad de aceleración que tuvo mayor relación con el t_{30m} fue la v_{12} ($P < 0,05$) (*tabla 2*). Aunque la fuerza elástico-explosiva (CMJ) también presentó una elevada correlación con el t_{30m} ($P < 0,05$). Además, se constata una elevada interrelación entre las manifestaciones explosiva y elástico-explosiva de la fuerza valorada mediante la capacidad de salto (SJ y CMJ) ($P < 0,05$). La fuerza reactiva, medida a través de la potencia relativa (RJ 5s_{pot rel}) y el tiempo de contacto (RJ 5s_{tc}) manifestados durante el test de saltos sucesivos (RJ 5s) correlacionó con el t_{30m} ($P < 0,05$).

Por último, hay que destacar que no se halló relación estadística alguna entre la $P_m máx$ desarrollada en $\frac{1}{2}$ *squat* y las variables de capacidad de aceleración, rendimiento y fuerza valorada mediante la capacidad de salto.

Discusión

El coeficiente de determinación obtenido en el presente estudio entre la velocidad expresada en da-

tos brutos y normalizados fue elevado ($R^2 = 0,983$) y muy similar al obtenido por Di Prampero et al. (2005) ($R^2 = 0,99$). Esto probablemente ha estado influenciado por el poco error sistemático de medida del radar Stalker ATS system™ (STALKER, Estados Unidos) (Chelly & Denis, 2001; Di Prampero et al., 2005) y por los altos coeficientes de determinación mostrados por la ecuación exponencial (1) para describir la $c \cdot v-t$ durante la fase de aceleración del *sprint* (Chelly & Denis 2001; Di Prampero et al., 2005; Volkov & Lapin, 1979).

Uno de los hallazgos más significativos del presente estudio fue la importante relación que mostraron algunos parámetros físicos con relación al rendimiento en el *sprint* (t_{30m}) en mujeres atletas de disciplinas de velocidad. En este sentido, la $v_{máx}$ es la variable que determina en mayor medida el t_{30m} lo cual está de acuerdo con lo observado por Letzelter (2006). Este resultado puede relacionarse con recientes trabajos, como son el de Little y Williams (2005) o Korhonen et al. (2009), en los que el rendimiento en el *sprint* se valoró directamente mediante el valor más elevado de $v_{máx}$ y no mediante el tiempo. Es decir, la $v_{máx}$ *per se* ha llegado a ser presentada como máximo exponente del rendimiento en el *sprint*.

En el presente estudio, se ha confirmado que la capacidad de aceleración (v_{12} y v_{13}) tiene una alta correlación con la $v_{máx}$ ($r = 0,992$ y $r = 0,979$; $P < 0,01$, respectivamente), estando de acuerdo con lo sugerido por Letzelter (2006), quien halló que las *sprinters* que tuvieron una mayor $v_{máx}$ poseían mayor capacidad de aceleración ($r = 0,70$; $P < 0,01$). Además, en el presente estudio no se ha encontrado ninguna relación significativa entre la

v_{11} y la $v_{m\acute{a}x}$ lo cual también está de acuerdo con lo sugerido por Letzelter (2006), según el cual los valores iniciales de aceleración obtenidos en tiempos muy breves (≤ 1 s) y distancias muy cortas (≤ 5 m) son menos determinantes para el rendimiento que los valores de aceleración obtenidos entre los 10 y los 30 m. No obstante, no debe perderse de vista que el planteamiento metodológico del presente estudio, en lo que a aceleración se refiere, es similar a lo sugerido por Murphy, Lockie y Coutts (2003) ya que la capacidad de aceleración se valoró mediante la velocidad instantánea en función del tiempo y no mediante la aceleración en función de la distancia, tal y como hizo Letzelter (2006).

En el presente trabajo, la relación existente entre la v_{12} y el t_{30m} es una muestra de la interrelación que hay entre la capacidad de aceleración y el t_{30m} . Teniendo en cuenta que el valor de v_{12} se halla entre los 5 y los 10 m, la relación obtenida entre la v_{12} y el t_{30m} ($r = -0,954$; $P < 0,01$) está de acuerdo con Nesser, Latin, Berg, & Prentice (1996) y Maulder (2005), quienes sugirieron que los velocistas más rápidos en los primeros 10 m también son los que consiguen mejores tiempos (rendimiento) en 100 m lisos. Este resultado está de acuerdo con lo apuntado por distintos autores sobre la *aceleración temprana*: fase de aceleración en la que mayor tasa de variación de la velocidad se da y que mayor relevancia posee respecto al rendimiento (tiempo de *sprint*) (Murphy et al., 2003; Maulder, 2005; Kristensen, Van Den Tillaar, & Ettema, 2006; Maulder et al., 2006). La v_{12} parece coincidir con la fase de *aceleración temprana* y también presenta una gran relevancia respecto al t_{30m} y la $v_{m\acute{a}x}$. Asimismo, la v_{12} parece determinar en gran medida la v_{13} por lo que la capacidad de aceleración en tiempos breves (2 s) o *aceleración temprana* en mujeres atletas de disciplinas de velocidad poseería una gran ascendencia sobre el t_{30m} .

Los valores de $a_{inicial}$ obtenidos en el presente estudio ($6,61 \pm 0,23 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$) fueron muy similares a los hallados por Chelly y Denis (2001) ($6,40 \pm 0,60 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$). A pesar de que en ambos estudios se han utilizado muestras muy dispares, las mujeres participantes en el presente estudio probablemente están más familiarizadas con el hecho de acelerar partiendo desde una situación de inercia que los jugadores juveniles de balonmano que intervinieron en el trabajo de Chelly y Denis (2001). Este hecho explicaría la ligera superioridad obtenida a nivel de $a_{inicial}$ respecto a la obtenida por Chelly y Denis (2001). No obstante, como sucediera en el estudio de Chelly y Denis (2001), la $a_{inicial}$ tampoco presenta una correlación significativa respecto al t_{30m} y la $v_{m\acute{a}x}$.

No obstante, la $a_{inicial}$ sí que mostró una alta correlación significativa con la fuerza dinámica máxima relativa valorada mediante la altura de salto alcanzada en el LJ *bw* ($r = 0,980$; $P < 0,01$). Son numerosos los autores que han sugerido una vinculación entre la fuerza dinámica máxima relativa y la aceleración (Vittori, 1990; Verkhoshansky, 1996a; Delecluse et al., 1995; Hoff & Helgerud, 2004; Wisløff et al., 2004; McBride et al., 2009). No obstante, debe precisarse que en la mayoría de estos estudios en los que se hallaron relaciones entre la aceleración y la fuerza dinámica máxima relativa, se utilizaron parciales de tiempo o velocidad y la fuerza desarrollada en $\frac{1}{2}$ *squat*, en lugar de la $a_{inicial}$ y la altura obtenida en el LJ *bw*. En el presente trabajo, la $a_{inicial}$ responde a la aceleración obtenida en tiempos muy breves (1 s) y/o distancias muy cortas (< 5 m), es decir, corresponde a la fase comprendida entre la salida de tacos y el primer apoyo. Dado que los tiempos de contacto sobre los tacos de salida (447 ms) (Fortier, Basset, Mbourou, Favérial, & Teasdale, 2005) y del primer paso son relativamente elevados (260 ms) y la fase de impulsión representa un 81,1 % del total del apoyo (Mero, 1988), existe tiempo suficiente para que la fuerza dinámica máxima relativa llegue a manifestarse por lo que dicha manifestación parece determinar el rendimiento durante la $a_{inicial}$ (Vittori, 1990).

Por otra parte, las manifestaciones elástico explosivas de la fuerza, valoradas a través de la altura obtenida en CMJ, parecen guardar una estrecha relación con el rendimiento en todo tipo de *sprints* y en cualquiera de las fases del mismo (Bret et al., 2002), y muy especialmente con las fases de aceleración (Mero et al., 1983; Maulder et al., 2006). Posiblemente, en los apoyos realizados durante la fase de aceleración, se da una sucesión de ciclos de estiramiento-acortamiento (Komi, 1984) “lento” (por encima de 200 ms) (Schmidtbleicher, 2000) que posibilitan el almacenamiento y posterior restitución de energía elástica (Cavagna, Komarek, & Mazzoleni, 1971) de la misma forma que sucede en un CMJ. Esto explicaría la elevada correlación obtenida entre el CMJ y el t_{30m} tanto en este estudio como en anteriores (Hennessy & Kilty, 2001).

La altura alcanzada en el CMJ estuvo altamente relacionada con la altura alcanzada en el SJ ($r = 0,951$; $P < 0,05$). Kubo, Kawakami y Fukunaga (1999) ya apuntaron que la altura de salto alcanzada en SJ y CMJ parecía depender, entre otros, de dos factores comunes: área de sección transversal muscular y de la fuerza desarrollada durante el movimiento balístico. A partir de aquí, la diferencia de rendimiento entre el SJ y el CMJ parece que puede explicarse por el almacenamiento y

posterior restitución de energía elástica (Cavagna et al., 1971), por el reflejo miotático (Carlock et al., 2004) o por permitir un mayor estado de pre-activación (Bobbert, Gerritsen, Litjens, & Van-Soest, 1996). En resumen, parece que la fuerza explosiva, valorada mediante la altura obtenida en un SJ, podría compartir ciertos mecanismos de desarrollo del rendimiento con la fuerza elástico explosiva (CMJ) que podrían explicar la elevada correlación significativa obtenida entre ambas.

Probablemente, la homogeneidad, así como el tamaño de la muestra, pueden ser las razones principales de las correlaciones halladas entre el t_{30m} y el RJ 5s_{ic} y RJ 5s_{pot rel} ($r = -0,967$ y $r = 0,965$, respectivamente). No obstante, también se debe tener en cuenta que, tal y como se ha apuntado anteriormente, siguiendo el modelo propuesto por Vittori (1990), las manifestaciones máxima dinámica relativa y explosiva (elástica) de la fuerza parecen ser preponderantes en *sprints* equivalentes a 30 m. No así las manifestaciones reflejas, que no parecen ser relevantes entre los 10 y los 30-40 m de *sprint* (Rimmer & Sleivert, 2000).

También la relación obtenida entre la $a_{inicial}$ y el RJ 5s_{neg} parece difícil de explicar dado que durante la fase inicial de aceleración (tal y como se entiende en el presente trabajo) prácticamente no se puede manifestar la expresión refleja de la fuerza ya que los tiempos de contacto son relativamente elevados (Vittori, 1990). No obstante, distintos autores (Delecluse et al., 1995; Rimmer & Sleivert, 2000), observaron mejoras en la fase de aceleración temprana (0-10 m) después de un período de entrenamiento basado en el desarrollo de las manifestaciones reactivas de la fuerza mediante ejercicios de “pliometría”. Dichos autores atribuyeron esta mejora a que los tiempos de contacto realizados durante el inicio de un *sprint* son similares a los obtenidos en ejercicios pliométricos. Estas explicaciones deben utilizarse con cautela en cuanto a la relación hallada en el presente trabajo entre la $a_{inicial}$ y el RJ 5s_{neg}. En primer lugar, en los estudios citados (Delecluse et al., 1995; Rimmer & Sleivert, 2000) las muestras se componían de estudiantes de educación física y deportistas recreacionales y, en segundo lugar, los tiempos de contacto obtenidos en los ejercicios pliométricos probablemente eran superiores (en algunos casos se realizaron sobre césped) a los obtenidos en el presente trabajo (RJ 5s sobre superficie sintética, 171 ± 22 ms) por lo que posiblemente solo se obtuvieron mejoras de los ciclos de estiramiento acortamiento (Komi, 1984) “lentos” (por encima de 200 ms) (Schmidtbleicher, 2000). De esta forma sería un incremento de la fuerza elástico explosiva la que se relacionaría con las mejoras del rendimiento en

la aceleración temprana. Por lo tanto, la relación entre la $a_{inicial}$ y el RJ 5s_{neg}, en el que sí que se manifiesta la fuerza de carácter reflejo (Locatelli, 1996), solo podría explicarse, parcialmente, por la necesidad que se presenta, tanto en ejercicios pliométricos de salto (ej.: RJ 5s) como en la fase de aceleración, de crear grandes aceleraciones de toda la masa corporal (Delecluse et al., 1995).

Por último, la falta de relación entre la $P_m máx$ y el resto de parámetros evaluados puede deberse al hecho de que las pruebas de potencia tienen una mayor correlación con los *sprints* largos (> 40 m). Además, esto podría ser debido a que los tiempos de contacto son más cortos y por lo tanto la velocidad de acortamiento de los sarcómeros más rápida, en *sprints* largos (Juárez & Navarro, 2007).

Conclusiones

En el presente trabajo la $v_{máx}$ es el principal parámetro determinante del rendimiento (t_{30m}), en mujeres atletas de especialidades de velocidad. También la capacidad de aceleración, sobretodo la *aceleración temprana* (v_{12}) y la fuerza elástico explosiva (CMJ) poseen una gran correlación con el t_{30m} y la $v_{máx}$. La $a_{inicial}$ está altamente determinada por la fuerza dinámica máxima (LJ bw) aunque su relación con el t_{30m} no fue significativa. Finalmente, parece necesario esclarecer en futuros trabajos, con una mayor muestra de estudio, cuál es la relación real entre la manifestación refleja de la fuerza (RJ 5s), la $P_m máx$ desarrollada en $\frac{1}{2}$ *squat* y el t_{30m} .

Referencias

- 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. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(3), 534-539. doi:10.1519/00124278-200408000-00025
- 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 repletion 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., Açı, 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* (Tesis 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 1er. *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
- Wisloff, 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.