



**EFFECTOS AGUDOS DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO
CON ARRASTRE DE TRINEO**

TESIS DOCTORAL

M^aASUNCIÓN MARTÍNEZ VALENCIA

Doctorado en Rendimiento Deportivo

DEPARTAMENTO DE ACTIVIDAD FÍSICA Y CIENCIAS DEL DEPORTE

FACULTAD DE CIENCIAS DEL DEPORTE

UNIVERSIDAD DE CASTILLA LA MANCHA

TOLEDO, 2013



**EFFECTOS AGUDOS DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO
CON ARRASTRE DE TRINEO**

M^a ASUNCIÓN MARTÍNEZ VALENCIA

Doctorado en Rendimiento Deportivo

DIRECTORES DE TESIS DOCTORAL:

Dr. FERNANDO J. NAVARRO VALDIVIELSO Y Dr. JOSÉ MARÍA GONZÁLEZ RAVÉ

TOLEDO, 2013

Lo que sabemos es una gota, lo que ignoramos un inmenso océano

Sir Isaac Newton

ÍNDICE DE CONTENIDOS

Lista de Publicaciones	7
Resumen	9
Abstract	11
Abreviaturas	13
Índice de figuras	15
Índice de tablas	17
Introducción	19
Referencias	33
Objetivos	41
Material y Método	43
Resultados y Discusión	51
1. Artículo 1. Efectos agudos del trabajo resistido mediante trineo: Una revisión sistemática	53
2. Artículo 2. Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat1 RM and kinematic variables in trained athletes	77
3. Artículo 3. Effects of sled towing on sprint performance, force and rate of force development in acceleration phase	101
4. Artículo 4. Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise	123
Discusión	137
Referencias	141
Conclusiones	143
Limitaciones	147

Futuras investigaciones	148
Agradecimientos.....	149
Anexos.....	151
1. Anexo 1	153
2. Anexo 2	163
3. Anexo 3	167
4. Anexo 4	173

LISTA DE PUBLICACIONES

La presente memoria de Tesis Doctoral está compuesta por los siguientes artículos científicos:

- I. Martínez-Valencia MA, González-Ravé JM, Navarro Valdivielso F, Alcaraz PE. Efectos agudos del trabajo resistido mediante trineo: Una revisión sistemática (*Acute effect of sled-towing exercise: A systematic review*). Cultura, Ciencia y Deporte. En revisión
- II. Martínez-Valencia MA, González-Ravé JM, Juárez D, Alcaraz PE, Navarro-Valdivielso F. Interrelación entre diferentes cargas en sprint resistido, 1 RM en semi-sentadilla y variables cinemáticas en atletas entrenados (*Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes*). European Journal of Sport Science. In press.
- III. Martínez-Valencia MA, Romero-Arenas S, Elvira JLL, González-Ravé JM, Navarro Valdivielso F, Alcaraz PE. Efectos del arrastre de trineo en el rendimiento de sprint, fuerza y ratio de producción de fuerza en la fase de aceleración (*Effects of sled towing on sprint performance, force and rate of force development in acceleration phase*). The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness. En revisión.
- IV. Martínez-Valencia MA, Linthorne NP, Alcaraz PE. Efecto de la potencia en miembros inferiores sobre el tiempo de sprint en un ejercicio de arrastre de trineo (*Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise*). Science & Sports. Aceptado.

El entrenamiento resistido se ha convertido en uno de los medios más empleado en los programas de entrenamiento del sprint, y el arrastre de trineo ha sido el dispositivo más utilizado para aplicar la sobrecarga. El objetivo de este método de entrenamiento es incrementar la fuerza muscular incidiendo en una disminución del tiempo de activación y aumento de la activación neuro-muscular.

El objetivo general de la presente memoria de Tesis es analizar los efectos agudos del trabajo resistido con arrastre de trineo sobre el rendimiento en el sprint, la cinemática de carrera y producción de fuerza. Por otro lado, se pretende ampliar el conocimiento en relación al criterio adecuado que permita individualizar la carga a utilizar en el trineo.

Los principales resultados sugieren que: a) la utilización del trineo en el sprint produce un aumento significativo en el tiempo de carrera y una disminución de la longitud de zancada y de la frecuencia de carrera, siendo la longitud de zancada la variable más afectada con el aumento de la carga. b) La utilización de cargas relativas al peso corporal de los deportistas no es un criterio adecuado para normalizar el peso del trineo, pues se encuentran diferencias en el incremento del tiempo de sprint entre deportistas. c) El aumento en el ratio de producción de fuerza (RFD) con cargas elevadas indica que para la mejora de la fase de aceleración cargas superiores al 15% del peso corporal pueden ser adecuadas. d) La ausencia de correlación entre la fuerza máxima individual (1 RM) y el rendimiento en sprint resistido, a diferencia de la correlación entre la potencia individual en salto vertical y el incremento de tiempo en sprint, sugieren que el criterio más adecuado para individualizar la carga de entrenamiento en el sprint con trineo sería la potencia individual del deportista.

Los resultados de la presente memoria de Tesis ponen de manifiesto la necesidad de individualizar la carga en base a criterios de rendimiento mediante variables de potencia de cada deportista.

ABSTRACT

Resisted sprint training has become one of the most used training methods in sprinting training programs, and sled-towing exercise also the most common display. The aim of this training method is to improve muscular force output decreasing neural activation time and greater neural activation.

The general aim of the present thesis is analysing the acute effects of sled-towing exercise on sprint performance, kinematic and force output. On the other hand, it also focuses on improving the knowledge regarding the standardization of loads to avoid differences between athletes when sled is used.

Main results suggested: a) sled-towing exercise leads to a significant increase in sprint time, and it due to decrease in stride length and stride frequency, showing higher differences in stride length while load increase. b) Setting the weight of the sled to a percentage of the athlete's body weight did not avoid differences between participants, as it shown in the differences in rate of increase in sprint time. c) Significant improvements to rate of force development with higher loads suggested that the used of resistance higher than 15% may be suitable for acceleration phase. d) The lack of correlation between maximal dynamic strength (1 RM) and resisted sprint performance and the correlation between power output in vertical jump and sprint time suggested the used of the athlete's power-to-weight ratio to set the load in sled-towing exercise.

Finally, these results indicate the importance of setting the weight of the sled according to power output variables so as to account for interathlete differences in power-to-weight ratio.

ABREVIATURAS

1 RM	Una Repetición Máxima
ANOVA	Análisis de Varianza (<i>Analysis of Variance</i>)
BM	Body Mass
BMP	Pulsaciones por minute (<i>Beat Per Minute</i>)
CEA	Ciclo de Estiramiento Acortamiento
CMJ	Salto con Contra-Movimiento (<i>Counter Movement Jump</i>)
DJ	Salto en profundidad (<i>Drop Jump</i>)
FC	Frecuencia de Carrera
Fmax	Fuerza Máxima
HJ	Altura del Salto (<i>Height Jump</i>)
LC	Longitud de zancada
P	Potencia Máxima
Pr	Potencia máxima relativa
PC	Peso Corporal
RFD	Ratio de Producción de Fuerza (<i>Rate of Force Development</i>)
RFDmax	Valor máximo obtenido en el Ratio de Producción de Fuerza en la curva fuerza-tiempo
SD	Desviación Estándar (Standard Deviation)
SF	Frecuencia de zancada (Stride Frequency)
SJ	Salto en sentadilla (<i>Squat Jump</i>)
SL	Longitud de zancada (Stride Length)
SJ120	Salto en sentadilla desde flexión inicial de 120°
TS	Tiempo de Sprint

Figura 1. Ecuaciones para el cálculo de la carga en sprint resistido en fase de aceleración y fase de máxima velocidad según Locki et al. (2003) y Alcaraz et al. (2009b).

Figura 2. Diseño de la investigación artículo II, distribución temporal de las mediciones.

Figura 3. Mediciones realizadas artículo III.

Figura 4. Diseño de la investigación artículo IV, distribución temporal de las mediciones.

Artículo I.

Figura 1. Número de artículos científicos encontrados en cada base de datos (SportDiscus o MEDLINE/PubMed) en relación a las palabras clave empleadas.

Figura 2. Proceso de selección de los estudios.

Artículo II

Figure 1. Scenario of the 20 m acceleration sprint.

Figure 2. Mean \pm SD sprint velocity depending on the sample 1 RM level: High vs. low level of maximal dynamic strength.

Artículo III

Figure 1. Load cell placement.

Figure 2. Experimental set-up.

Figure 3. Force-time trace for start in sled-towing exercise, illustrating start of the sprint, RFD and Fmax.

Figure 4. Increments in sprint time across all testing conditions in 20 and 30-m sprint.

Artículo IV

Figure 1. Plot (a) shows the linear increase in 20-m sprint time with increasing sled weight for a male sprinter (Participant 3). The solid line is the line of best fit and the dashed lines indicate the 95% confidence limits. The gradient of the line of best fit gives the rate of increase in sprint time for this athlete. Plot (b) shows that there were

substantial differences in the rate of increase in 20-m sprint time with increasing sled weight within this group of male sprinters. Only the line of best fit for each of the eight athletes is shown; data points have been omitted for clarity.

Tabla 1. Investigaciones realizadas con arrastre de trineo: Efectos agudos

Tabla 2. Tabla resumen de la metodología utilizada en la memoria de Tesis.

Tabla 3. Tabla resumen de la metodología de la revisión sistemática (Artículo I).

Tabla 4. Características de la muestra de los estudios que componen la memoria de Tesis.

Artículo II

Table I. Mean \pm SD sprinting velocity, stride length and stride frequency across different resisted loads (n = 21).

Table II. Mean \pm SD age, body mass, height and 1 RM for high and low strength groups (n = 21).

Table III. Mean \pm SD stride frequency and stride length in the maximal strength level groups (n = 21).

Table IV. Correlation between maximal strength and 1 RM in half-squat test, maximal load in resisted sprint and sprinting velocity in unloaded and loaded conditions.

Artículo III

Table 1. Mean \pm SD RFDmax, time to RFDmax and Fmax.

Artículo IV

Table 1. Correlation between lower body explosive power and the rate of increase in sprint time with sled weight when towing a weighted sled (n = 8).

INTRODUCCIÓN

Esprintar es la habilidad de correr a máxima velocidad o cerca de la máxima velocidad durante cortos periodos de tiempo (Baughman, Takaha & Tellez, 1984). Algunos autores han sugerido que el rendimiento en sprint es una destreza multidimensional compuesta por diferentes fases (Delecluse, Van Coppenolle, Willems, Van Leemputte, Diels & Goris, 1995; Johnson & Buckley, 2001; Mero, Komi & Gregor, 1992). De este manera, el sprint ha sido dividido en las siguientes fases: salida, que a su vez esta compuesta por dos sub-fases; tiempo de reacción y tiempo de salida, fase de aceleración, fase de velocidad máxima y fase de deceleración (Helmick, 2003). Según Johnson y Buchley (2001) la prueba de 100 m puede dividirse en tres fases, una primera fase que comprende los 10 m iniciales donde se genera una alta aceleración, la segunda fase continua con dicho aumento de aceleración hasta alcanzar la velocidad máxima (10 – 36 m) y la tercera fase, donde se aprecia el mantenimiento de la velocidad máxima sobre la distancia que resta (36 – 100 m). Todas estas fases son críticas en la capacidad de sprint.

El rendimiento del deportista viene determinado por una compleja combinación de diversos factores, como son: la dotación genética, el entrenamiento, el estado de salud, y la integración de diferentes componentes fisiológicos, psicológicos y biomecánicos (MacDougall, Wenger & Green, 1995). En relación al rendimiento en sprint, tanto un correcto patrón técnico como el entrenamiento influyen de forma positiva en el resultado final.

La capacidad de sprint ha sido considerada una cualidad determinante del rendimiento deportivo, siendo un elemento muy importante en gran diversidad de especialidades deportivas (Majdell & Alexander, 1991; Hay, 1993; Young, McLean, & Ardagna, 1995). Tanto la salida como la fase de aceleración influyen de manera directa sobre el rendimiento

final en el sprint (Coh, Jost, Skof, Tomazin & Solenec, 1998; Helmick, 2003), pero a su vez son ambas fases las más representadas en la mayoría de los deportes, lo que justifica que la mayor parte de la literatura se haya centrado en abordar la fase de aceleración principalmente.

Dentro de los métodos utilizados para mejorar la producción de fuerza y así incrementar el rendimiento en la fase de aceleración se incluyen diferentes formas de trabajo con cargas, entrenamiento pliométrico y métodos de sprint asistido y resistido (Cronin & Hansen, 2006). En este sentido, el trabajo tradicional de fuerza se ha orientado hacia el desarrollo de la fuerza con cargas elevadas. Sin embargo, éste no optimiza la producción de potencia requerida a altas velocidades (Hrysomallis, 2012). El entrenamiento de potencia se ha realizado con cargas ligeras con el fin de aumentar la fuerza a altas velocidades y desarrollar el RFD. Por otra parte, el entrenamiento pliométrico se ha establecido para mejorar el ciclo estiramiento acortamiento (CEA), para aumentar la estimulación neuromuscular y por tanto la fuerza, y finalmente el entrenamiento de fuerza mediante la utilización del patrón específico de movimiento de la especialidad deportiva con el objetivo de perfeccionar el propio patrón motor y la coordinación en la aplicación de fuerza (Weyand, Sternlight, Bellizzi & Wright, 2000). En este último apartado se encuentra el sprint resistido. Este método proporciona una resistencia añadida a la resistencia natural de la propia ejecución (Girolid, Maurin, Dugue, Chatard, & Millet, 2007) incrementándose así el estímulo sobre la musculatura implicada para optimizar las adaptaciones dirigidas a la técnica específica del movimiento del gesto deportivo (Hrysomallis, 2012; Dintiman, Ward, & Tellez, 2001).

Para Alexander (1989), el sprint es el resultado directo del impulso (fuerza media multiplicada por el tiempo de contacto) aplicado por el atleta contra el suelo, por lo que se ha

considerado el incremento de la fuerza específica del velocista uno de los aspectos principales en los programas de entrenamiento (Korchemny, 1985). El entrenamiento de fuerza y potencia debe ser un aspecto integral en el desarrollo de un velocista (Sheppard, 2004). Uno de los medios más populares para incrementar la fuerza en el deportista se basa en el entrenamiento con sobrecarga, siendo protagonista indiscutible de la mayoría de los programas de entrenamiento del sprint. Esta afirmación justificaría la amplia utilización de los distintos medios de sobrecarga sobre gran variedad de especialidades deportivas: fútbol, rugby, hockey, natación y atletismo entre otros.

Son diversos los medios utilizados en este tipo de entrenamiento, siendo los más comunes el arrastre de trineo o paracaídas, el uso de chalecos y cinturones lastrados o las carreras en cuesta (Alcaraz, Palao, Elvira & Linthorne, 2008; Jakalski, 1998; Paradisis & Cooke, 2006; Cronin, et al., 2008). Cada método posee unas características diferentes y por lo tanto difieren levemente en las adaptaciones producidas, sin embargo, la literatura coincide en que los ejercicios resistidos buscan que los músculos implicados durante el sprint trabajen con una ligera sobrecarga (Alcaraz, Palao & Elvira, 2009a).

El objetivo principal de cualquier tipo de trabajo resistido es la disminución en el tiempo de activación de las unidades motoras para provocar una mejor adaptación neurológica (Jakalski, 1998). En este sentido, se ha mostrado que el entrenamiento resistido produce una mejora en la fuerza muscular (Alcaraz, Elvira & Palao, 2012; Harrison & Bourke, 2009; Lockie, Murphy, Schultz, Knight & Campus, 2012; Spinks, Murphy, Spinks & Lockie, 2007), y por tanto una mayor activación neural y reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (Faccioni, 1994). Este tipo de trabajo utilizado en carrera genera la producción de una mayor fuerza horizontal y/o fuerza vertical, dependiendo de la dirección de la resistencia

aplicada (Zatsiorsky & Kraemer, 2006), y esta resistencia depende del método que se emplee (Alcaraz et al., 2008).

Características del trabajo con sobrecarga

Las investigaciones desarrolladas con este método de entrenamiento se centran principalmente en deportes como el atletismo (Alcaraz et al., 2008; Alcaraz, Palao & Elvira, 2009b; Andre, Fry, Bradfor & Buhr, 2012; Bennett, Sayers & Burkkett, 2009; Bosco, Rusko & Hirvonen, 1986; Kristensen, Van der Tillaar, & Ettema, 2006; Letzelter, Sauerwein, Burger, 1995; Martínez-Valencia, González-Ravé, Juárez, Alcaraz & Navarro-Valdivielso, 2011; Maulder, Bradshaw & Keogh, 2008), natación (Giroid, Calmels, Maurin, Milhau, & Chatard, 2006; Giroid, et al., 2007; Gourgoulis, et al., 2010; Tanaka & Swensen, 1998; Telles, Barbosa, Campos & Júnior, 2011; Toussaint & Vervoorn, 1990), béisbol (Morimoto, Ito, Kawamura & Muraki, 2003), hockey (Matthews, Comfort & Crebin, 2010; Pollitt, 2004) y deportes de equipo en hierba (Cronin, Hanse, Kawamori, 2008; Lockie, Murphy & Spinks, 2003; Myer, Ford, Brent, Divine, & Hewett, 2007; Spinks, et al., 2007; Harrison & Bourke, 2009).

Los dispositivos utilizados para crear la sobrecarga han sido diversos, entre ellos se pueden encontrar:

- Trineo (Alcaraz et al., 2009b; Andre et al., 2012; Keogh, Newlands, Blewett, Payne & Chun-Er, 2010; Letzelter et al., 1995; Linthorne & Cooper, 2012; Lockie et al., 2003; Lockie et al., 2012; Martínez-Valencia et al., 2011; Maulder et al., 2008; Murray et al., 2005).
- Paracaídas (Alcaraz et al., 2008; Paulson & Braun, 2011).

- Chalecos, cinturones y elementos lastrados (Bennet et al., 2009; Bosco et al., 1986; Cronin, et al., 2008).
- Arena de playa (Alcaraz, Palao, Elvira & Linthorne, 2011).
- Banda elástica (Corn & Knudson, 2003).
- Entrenamiento con desnivel (Baron, Deruelle, Moullan, Dalleau, Verkindt & Noakes, 2009; Ebben, Davies & Clewien, 2008; Paradisis & Cooke, 2001).
- Neumáticos (Jakalski, 1998; Cissik, 2005).

Finalmente, se encuentra en la literatura la aplicación de la sobrecarga a través de un novedoso sistema de poleas desde el techo (Kristensen, et al., 2006) y en tapiz rodante (Ross, Ratamess, Hoffman, Faigenbaum, Kang & Chilakos, 2009; Myer et al., 2007; Zemková & Hamar, 2004).

De todos ellos, el implemento más utilizado en desplazamientos en carrera ha sido el trineo. Éste se ha descrito como un protocolo de entrenamiento que busca mejorar la aceleración y el sprint (Jakalski, 1998; Dintiman et al., 2001), utilizado en gran diversidad de especialidades deportivas, como fútbol, hockey, rugby y atletismo (Alcaraz et al., 2012; Clark, Stearne, Walts & Miller, 2010; Harrison & Bourke, 2009; Lockie et al., 2012; Spinks et al., 2007; West et al., 2012; Zafeiridis, Saraslanidis, Manou, Ioakimidis, Dipla & Kellis, 2005) (Tabla 1).

Tabla 1. Investigaciones realizadas con arrastre de trineo: Efectos agudos

INVESTIGACIONES TRABAJO RESISTIDO CON TRINEO				
Autores	Muestra		Carga utilizada	Distancia de análisis
	N	Características		
Letzelter et al. (1994)	16♀	Velocistas	2.5, 5 y 10 kg	30 m
Lockie et al. (2003)	20♂	Deportes de hierba	12.2 y 32.6% PC	15 m
Murray et al. (2005)	33♂	Rugby (n=13) Fútbol (n=20)	5%-30% PC, incrementos del 5%	20 m
Alcaraz et al. (2008)	18 (11♂ y 7♀)	Velocistas y saltadores	16% PC	30 m lanzados
Cronin et al. (2008)	20 (16♂ y 4♀)	Velocistas (n=12) Rugby (n=8)	15 y 20% PC	30 m; 10 m
Maulder et al. (2008)	10♂	Atletas	10% y 20% PC	10 m (salida de tacos)
Alcaraz et al. (2009b)	26♂	Atletas (velocidad, saltos, héptalon)	6%, 10% y 15% PC	30 m lanzados
Keogh et al. (2010)	8♂	Powerlifting, bodybuilding, fútbol americano	171.2 kg (incluye peso del trineo)	25 m; 5 m

PC: Peso corporal.

Algunos autores recomiendan diferentes métodos resistidos o nivel de carga en función de las fases de la carrera sobre la que se pretende incidir: la fase de aceleración y/o la fase de máxima velocidad. En relación al trabajo para la mejora de la fase de aceleración se ha recomendado la utilización del trineo con cargas elevadas y sprint en cuesta (Cronin & Hansen, 2006). El arrastre de trineo con cargas bajas, chalecos, cinturones lastrados y paracaídas (Alcaraz et al., 2008; Cronin & Hansen, 2006) se aconsejan para la fase de máxima velocidad. Sin embargo, en relación a la carga óptima de entrenamiento en ambas fases, las recomendaciones se orientan en el control de la velocidad horizontal, siendo el 90% de la velocidad máxima el criterio considerado adecuado (Jakalski, 1998).

Entrenamiento resistido con arrastre de trineo

Actualmente existen pocos estudios que hayan examinado los efectos conjuntos del trabajo resistido mediante la utilización del trineo y su influencia sobre el rendimiento en sprint, variables de producción de fuerza o potencia. Se ha establecido la pérdida de velocidad como el indicador de la intensidad de trabajo, y por tanto como el criterio para establecer la carga de entrenamiento, junto con las observaciones realizadas por los propios entrenadores sobre patrones técnicos del gesto deportivo. Sin embargo, no se ha comprobado cual podría ser la carga que optimizará el rendimiento derivando en una mejora de la activación neural y reclutamiento de unidades motoras como se describe en la literatura (Faccioni, 1994) y por tanto en el incremento de la fuerza muscular aplicada directamente en carrera.

Estudios experimentales de entrenamiento resistido que han utilizado el arrastre de trineo, han descrito mejoras en la fuerza muscular en pruebas de salto vertical mediante Drop Jump (DJ) tras seis semanas (Harrison y Bourke, 2009; Lockie et al., 2012), y un incremento en la potencia mecánica en semi-squat y Squat Jump (SJ) modificado (120° de flexión) tras

cuatro semanas (Alcaraz et al., 2012), resultados que apoyan la hipótesis inicial de que este método de entrenamiento produce un aumento de la fuerza muscular. Sin embargo, el rasgo común en estas investigaciones es la utilización de cargas que producen una disminución teórica de la velocidad máxima del 7.5% y 10%. Hasta el momento no se han encontrado investigaciones en la revisión documental de esta tesis doctoral que utilicen cargas superiores al 15% del peso corporal (PC).

Efectos agudos del trabajo resistido con trineo

Como se analizaba en apartados anteriores, el control de la intensidad en el entrenamiento resistido se ha llevado a cabo mediante la velocidad máxima. En este sentido, son varias las investigaciones que analizan los efectos agudos del aumento de la carga sobre el rendimiento en el sprint y la cinemática de carrera (Tabla 1).

Existe un consenso común que afirma como el aumento de la carga en el trineo produce una disminución de la velocidad horizontal de desplazamiento (Alcaraz et al., 2008; Alcaraz et al., 2009b; Cronin et al., 2008; Letzelter et al., 1995; Linthorne & Cooper, 2012; Lockie et al., 2003; Martínez-Valencia et al., 2011; Murray et al., 2005; Maulder et al., 2008). Sin embargo, no se puede establecer un criterio homogéneo de cuando dicha disminución es o no significativa, además de observarse una gran diversidad de distancias de análisis. Por otro lado, se ha demostrado que el aumento en el tiempo de sprint es directamente proporcional al incremento de la carga en el trineo (Cronin et al., 2008; Murray et al., 2005).

La mayoría de las investigaciones se han centrado en analizar el efecto del arrastre de trineo en la fase de aceleración, los resultados obtenidos por Letzelter et al. (1995) con mujeres velocistas, muestran que una resistencia de 2.5 kg disminuye el tiempo de sprint en

un 8%, la carga de 5 kg afecta en un 11% y 10 kg reducen el tiempo en un 20%. En esta línea, Cronin et al. (2008) muestran una disminución significativa del tiempo en 10 y 30 m con cargas del 15% y 20% PC en jugadores de rugby y velocistas, con una disminución del 16% para la última carga en 30 m. Maulder et al. (2008) llevan a cabo un estudio centrado en la fase inicial de la carrera de velocidad, mediante el análisis de los efectos sobre la salida de tacos y primeros 10 m de carrera. Los resultados muestran un aumento significativo del tiempo en 10 m para resistencias del 10% y 20% PC, el aumento en el tiempo de sprint se registra en un 8% y 14% respectivamente. Este último estudio muestra que el trabajo con trineo tiene un mayor efecto sobre el rendimiento en comparación con el uso del chaleco lastrado. El estudio de Keogh et al., (2010) utiliza cargas más elevadas en el trineo (171.2 kg) en una distancia de 25 m de carrera. Sin embargo, la ausencia de comparación con un sprint sin carga impide conocer el efecto de dicha carga sobre el patrón técnico y rendimiento, aunque el rango de tiempo descrito en los resultados (10 – 40 s) necesario para recorrer los 25 m se considera demasiado amplio y alejado del principio de especificidad que sigue el entrenamiento resistido.

Únicamente se encuentra una investigación que describe los efectos del arrastre de trineo en la fase de máxima velocidad (Alcaraz et al., 2008). Debido a que el objetivo principal de esta investigación era comparar el efecto entre tres dispositivos diferentes de sobrecarga, solo se utilizó una carga en el trineo, 16% PC, que a su vez suponía una disminución teórica del 10% sobre la velocidad máxima obtenida en el sprint sin resistencia. Los resultados revelan que dicha carga supone una disminución del 12% sobre la velocidad máxima en hombres, y de un 14% en mujeres.

Finalmente, dos estudios han tratado de dotar a la comunidad científica de una ecuación que facilite el cálculo de la resistencia en función del porcentaje de velocidad al que se quiere trabajar (Alcaraz et al., 2009b; Lockie et al., 2003). Lockie et al. (2003) proponen una carga del 12.6% PC, y del 32.2% para una disminución del 10% y 20% de la velocidad en la fase de aceleración (15 m). Por otro lado, Alcaraz et al. (2009b) llevan a cabo la investigación sobre la fase de máxima velocidad (30 m lanzados), mostrando que en esta fase la carga utilizada en trineo debe ser inferior en relación a la fase de aceleración, pues el 10% PC supone una pérdida del 10.5% de la velocidad máxima. A la hora de utilizar las ecuaciones propuestas en ambas investigaciones se debe tener en cuenta las características de la población. En el primer estudio fueron jugadores de rugby, hockey hierba y fútbol mientras que en el segundo estudio los participantes fueron atletas especializados en pruebas de velocidad (Figura 1).

$$\text{Fase de aceleración} \rightarrow \%PC = -1.96 \cdot \% \text{ velocidad} + 188.99$$

$$\text{Fase máxima velocidad} \rightarrow \% PC = -0.8674 \cdot \% \text{ velocidad} + 87.99$$

Figura 1. Ecuaciones para el cálculo de la carga en sprint resistido en fase de aceleración y fase de máxima velocidad según Lockie et al. (2003) y Alcaraz et al. (2009b).

La mayoría de los estudios coinciden en que cargas superiores al 10% PC suponen una disminución significativa del rendimiento en sprint, sin embargo, Murray et al., (2005) en un estudio con jugadores de rugby y fútbol determinaron que el incremento en el tiempo de sprint es constante y atiende a un patrón lineal, por lo que no se observa ninguna carga donde se produzca una disminución superior a la derivada del propio aumento de la resistencia hasta el 30% PC.

En base a los estudios encontrados en la literatura, se podría concluir que la carga adecuada debería ser inferior al 13% PC, pudiendo ser más elevada en el caso de atletas de velocidad, sin embargo, no está claro en que punto se produce una disminución significativa, o al menos cual debería ser la carga de referencia para evitar un efecto negativo sobre el rendimiento de los deportistas sin disminuir la estimulación neuro-muscular y por tanto el efecto sobre el incremento de la fuerza muscular. En este sentido hay que tener en cuenta la falta de acuerdo entre las investigaciones puede deberse, además de a las características de los propios sujetos y especialidades deportivas, al coeficiente de rozamiento, que esta determinado por las características del trineo y superficie sobre la que se realiza el sprint (Andre et al., 2012; Linthorne & Cooper, 2012).

En relación al establecimiento de la carga óptima de entrenamiento el acuerdo es tal, que la mayoría de los estudios experimentales (Harrison & Bourke, 2009; Lockie et al., 2012; Spinks et al., 2007; West et al., 2012) utilizan la carga propuesta por Lockie et al. (2003) mediante su ecuación, 12,6 – 13% PC. Sin embargo, la ausencia de investigaciones que utilicen cargas superiores al 15% PC, impide conocer el efecto que cargas más elevadas tendrían sobre el rendimiento en velocidad, fuerza o potencia, y cual sería el nivel de afectación de la técnica de carrera.

En el entrenamiento resistido la velocidad se ha considerado como el indicador indirecto de la intensidad del ejercicio. Sin embargo, las recomendaciones también se han orientado hacia la conservación del patrón técnico de carrera (Alcaraz et al., 2009a), de tal manera que la mayoría de los estudios han tratado de analizar los efectos que el sprint resistido con trineo produce sobre las variables cinemáticas del deportista.

En este sentido, las variables de análisis comunes en todas las investigaciones son la frecuencia de carrera y longitud de zancada, aunque muchas de ellas se centran en un análisis más completo, incluyendo parámetros como tiempo de apoyo, tiempo de vuelo, inclinación del tronco, ángulos de las palancas corporales o movimiento de miembros superiores (Alcaraz et al., 2008; Cronin et al., 2008; Lockie et al., 2003; Maulder et al., 2008).

Los resultados revelan que el aumento de la carga en el trineo supone una disminución de la frecuencia de carrera y longitud de zancada en relación al sprint sin carga (Alcaraz et al., 2008; Cronin et al., 2008; Letzelter et al., 1995; Lockie et al., 2003). Asimismo, Maulder et al. (2008) mantienen que una carga del 10% PC implica unos efectos moderados en el rendimiento en 10 m y salida de tacos, y cargas superiores (20% PC) sólo afectan significativamente sobre el tiempo total de despegue de los tacos de salida y la longitud entre el paso 2 y 3 y entre 3 y 4. En línea con estos resultados, Murray et al. (2005) defienden que la disminución en las variables técnicas se corresponde con un modelo lineal, y por tanto no se puede establecer que el incremento de la carga hasta el 30% PC produzca de manera significativa una disminución en la longitud o frecuencia de carrera. Contrastan los resultados obtenidos por Lockie et al. (2003) donde la longitud de zancada se ve afectada en un 10% y un 25% para resistencias del 12.6 % y 32.2 % PC, los autores determinan que el aumento de la carga afecta en mayor medida a la longitud de zancada que a la frecuencia de carrera.

La literatura establece que el uso del trineo supone un aumento en el tiempo de contacto y una disminución del tiempo de vuelo (Cronin et al., 2008; Lockie et al., 2003), así como una mayor inclinación del tronco (Alcaraz et al., 2008; Lockie et al., 2003). No existe acuerdo en cuanto a los efectos a corto plazo que este tipo de entrenamiento produce sobre el gesto deportivo, si bien, algunos estudios establecen que tras un periodo que oscila entre

cuatro y seis semanas de entrenamiento se produce un aumento de la longitud de zancada y una disminución de la frecuencia de carrera (Alcaraz et al., 2012; Lockie et al., 2012), mientras que Clark et al. (2010) y Spinks et al. (2007) tras siete y seis semanas de entrenamiento respectivamente, describen una disminución de la longitud y aumento de la frecuencia de carrera.

Relación entre sprint resistido y producción de fuerza y potencia

Teniendo en cuenta que el objetivo principal del entrenamiento resistido es la optimización de la fuerza específica del velocista, tendría sentido establecer la carga del trineo en función de la potencia máxima producida por el deportista. Existe un gran vacío en la literatura en cuanto a estudios que analicen la relación entre la fuerza y potencia producida en el propio gesto de carrera con arrastre de trineo con los efectos producidos sobre el tiempo o velocidad de sprint, aún mayor es la falta de conocimiento sobre el comportamiento de estas variables en el sprint resistido con el incremento de la carga.

Dos son las investigaciones que han determinado que no existe relación entre el tiempo en sprint con trineo y la fuerza máxima (fuerza máxima isométrica y 1RM semi-squat) (Letzelter et al., 1995; Martínez-Valencia et al., 2011). Esto puede deberse a que tener grandes valores de fuerza dinámica máxima (FDM) no es requisito imprescindible para la obtención de buenos resultados en muchos deportes (Bosco, 2000). Sin embargo, tener un nivel óptimo de fuerza máxima es fundamental para poder desarrollar elevados gradientes de fuerza explosiva, en este sentido, se establece que altos niveles de producción de fuerza y potencia suelen ir asociados con una mayor capacidad para acelerar la propia masa corporal u objetos externos (Berger, 1982).

Se puede comprobar que la mayoría de los estudios de sprint resistido establecen la carga en el trineo como porcentaje del peso corporal, bajo la consideración de que los atletas más grandes tienden a generar una mayor fuerza muscular; sin embargo, Linthorne & Cooper (2012) encontraron que a pesar de aplicar la carga del trineo relativa al peso corporal de los atletas, todavía se observaban diferencias en el efecto que éste produce sobre el aumento del tiempo de sprint entre deportistas. Los autores consideran que estas diferencias pueden estar justificadas por el perfil individual de fuerza-velocidad de los deportistas, de esta manera, tendría sentido definir la carga en función de dicha variable y no del peso corporal de sujeto (Murray et al., 2005).

Se encuentra una aproximación a la determinación de la potencia mediante la utilización del tapiz rodante como medio de aplicación de la resistencia en el sprint, una célula de carga sincronizada con un sistema de fotocélulas y el propio tapiz rodante (Ross et al., 2009). El estudio determina que el grupo de entrenamiento resistido en tapiz rodante es el único que tras siete semanas incrementa la potencia pico en el sprint en tapiz rodante.

Teniendo en cuenta que el uso del trineo como medio de entrenamiento resistido es el más empleado, se considera necesario determinar el efecto que éste tiene sobre variables de producción de fuerza, potencia, o RFD en el patrón técnico de carrera. Por otro lado, la homogeneidad en el criterio de selección de cargas en los estudios experimentales, utilizando cargas bajas ha impedido determinar si cargas más elevadas tendrían un efecto positivo en la producción de fuerza en carrera y por tanto del rendimiento en sprint.

REFERENCIAS

1. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2009a). Características y efectos de los métodos resistidos en el sprint. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 4: 179-187.
2. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2009b). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2), 480-485.
3. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2012). Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x.
4. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., & Linthorne, N. P. (2011). Effects of a sand running surface on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *Biology of Sport*, 28(2): 95-100.
5. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., & Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3), 890-897.
6. Alexander, M. J. L. (1989). The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Canadian Journal of Sport Sciences*, 14(3), 148-157.
7. Andre, M. J., Fry, A. C., Bradford, L. A. & Buhr, K. W. (2012). Determination of friction and pulling forces during a weighted sled pull. *Journal of Strength and Conditioning Research*. DOI: 10.1519/JSC.0b013e318269aaef.
8. Baron, B., Deruelle, F., Moullan, F., Dalleau, G., Verkindt, C. & Noakes, T. D. (2009). The eccentric muscle loading influences the pacing strategies during repeated downhill sprint intervals. *European Journal of Applied Physiology*, 105: 749-757.

9. Bennett, J. P., Sayers, M. G. L. & Burkett, B. J. (2009). The impact of lower extremity mass and inertia manipulation on sprint kinematics. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(9): 2542-2547.
10. Baughman M, Takaha M, Tellez T. Sprint training. *NSCA J*. 1984;6:34-6.
11. Berger, R. A. (1982). *Applied exercise physiology*. Philadelphia: Lea & Febiger.
12. Bosco, C. (2000). *La fuerza muscular: aspectos metodológicos*. Zaragoza: Inde.
13. Bosco, C., Rusko, H., & Hirvonen, J. (1986). The effect of extra-load conditioning on muscle performance in athletes. / L' effet d' un entraînement par surcharge ponderale sur la performance musculaire chez des athletes. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 18(4), 415-419.
14. Cissik, J. M. (2005). Means and Methods of Speed Training: Part II. *Strength & Conditioning Journal*, 27(1), 18-25.
15. Clark, K. P., Stearne, D. J., Walts, C. T. & Miller, A. D. (2010). The longitudinal effects of resisted training using weighted sleds vs. weighted vests. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10):3287-3295.
16. Coh, M., Jost, B., Skof, B., Tomazin, K. & Dolenc, A. (1998) Kinematic and kinetic parameters of the sprint start and start acceleration model of top sprinters. *Gymnica*, 28, 33-42.
17. Corn, R. J. & Knudson, D. (2003). Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(1), 72-75.
18. Cronin, J., & Hansen, K. (2006). Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *National Strength & Conditioning Association Journal*, 28(4), 42-51.
19. Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7(2), 160-172.

20. 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.
21. Dintiman, G., Ward, B., & Tellez, T. (2001). *La velocidad en el deporte: el mejor programa de entrenamiento*. Madrid: Tutor.
22. Ebben, W. P., Davies, J. A. & Clewien, R. W. (2008). Effect of the degree of hill slope on acute downhill running velocity and acceleration. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(3): 898-902.
23. Faccioni, A. (1994). Assisted and resisted methods for speed development: Part 2. *Mod Athl Coach*, 32(3), 8-12.
24. Giroid, S., Calmels, P., Maurin, D., Milhau, N. & Chatard, J.-C. (2006). Assisted and resisted sprint training in swimming. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(3), 547-554.
25. Giroid, S., Maurin, D., Dugue, B., Chatard, J.-C., & Millet, G. (2007). Effects of dry-land Vs. resisted- and assisted- sprint exercises on swimming sprint performances. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(2), 599-605.
26. Gourgoulis, V., Antoniou, P., Aggeloussis, N., Mavridis, G., Kasimatis, P., Vezos, N., et al. (2010). Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. *Journal of Sports Sciences*, 28(11): 1165-1173.
27. Harrison, A. J, & Bourke, G. (2009). The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res*, 23(1), 275-283.
28. Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4^a ed.). Nueva Jersey: Prentice Hall.
29. Helmick, K. (2003). Biomechanical analysis of sprint start positioning. *Track Coach*, 163, 5209-5214.

30. Hrysomallis, C. (2012) The effectiveness of resisted movement training on sprinting and jumping performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(1): 299-306.
31. Jakalski, K. (1998). The pros and cons of using resisted and assisted training methods with high school sprinters. Parachutes, tubing and towing. *Track Coach*, 144, 4585-4589, 4612.
32. Johnson, M. D. & Buckley, J. G. (2001). Muscle patterns in the mid-acceleration phase of sprinting. *Journal of Sports Sciences*, 19, 263-272.
33. Keogh, J. W. L., Newlands, C., Blewett, S., Payne, A., & Chun-Er, L. (2010). A kinematic analysis of a strongman-type event: the heavy sprint-style sled pull. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 3088-3097.
34. Korchemny, R. (1985). Evaluation of sprinters. *National Strength & Conditioning Association Journal*, 7, 38-42.
35. Kristensen, G. O., Van der Tillaar, R. & Ettema, G. J. C. (2006). Velocity specificity in early-phase sprint training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 833-837.
36. Letzelter, M., Sauerwein, G., & Burger, R. (1995). Resistance runs in speed development. *Modern Athlete & Coach*, 33, 7-12.
37. Linthorne, N. & Cooper, J. E. (2012). Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sport Biomechanics*. DOI:10.1080/14763141.2012.726638.
38. Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J. & Janse de Jonge, X. A. K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1539-1550.

39. Lockie, R. G., Murphy, A. & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 760-767.
40. MacDougall, J. D., Wenger, H. A. & Green, H. J. (1995). *Evaluación fisiológica del deportista*. Barcelona: Paidotribo.
41. Martínez-Valencia, M. A., González-Ravé, J. M., Juárez, D., Alcaraz, P. E., & Navarro-Valdivielso, F. (2011). Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes. *European Journal of Sports Science*. DOI:10.1080/17461391.2011.638935.
42. Majdell, R., & Alexander, M. J. L. (1991). The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *Journal of Human Movement Studies*, 21(1), 19-39.
43. Matthews, M.J., Comfort, P. & Crebin, R. (2010). Complex training in Ice Hockey: The effects of a heavy resisted sprint on subsequent Ice-Hockey sprint performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(11), 2883-2887.
44. Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. W. L. (2008). Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1992-2002.
45. Mero, A., Komi, P. V. & Gregor, R. J. (1992). Biomechanics of sprint running. *Sports Medicine*, 13(6), 376-392.
46. Morimoto, Y., Ito, K., Kawamura, T. & Muraki, Y. (2003). Immediate effect of assisted and resisted training using different weight balls on ball speed and accuracy in baseball pitching. *Internacional Journal of Sport and Health Science*, 1(2): 238-246.
47. Murray, A., Aitchison, T. C., Ross, G., Sutherland, K., Watt, I., McLean, D., et al. (2005). The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *Journal of Sports Science*, 23(9), 927-935.

48. Myer, G. D., Ford, K. R., Brent, J. L., Divine, J. G. & Hewett, T. E. (2007). Predictors of sprint start speed: The effects of resistive ground-based Vs. inclined treadmill training. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 21(3): 831-836.
49. Paradisis, G. P. & Cooke, C. B. (2001). Kinematic and postural characteristics of sprint running of sloping surfaces. *Journal of Sports Sciences*, 19: 149-159.
50. Paradisis, G. P. & Cooke, C. B. (2006). The effects of sprint running training on sloping surfaces. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20(4), 767-777.
51. Paulson, S. & Braun, W. A. (2011). The influence of parachute-resisted sprinting on running mechanics in collegiate track athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(6): 1680-1685.
52. Pollit, D. J. Using the pavesled to develop the skating musculature. *Strenght and Conditioning Journal*, 25(4), 66-69.
53. Ross, R. E., Ratamess, N. A., Hoffman, J. R., Faigenbaum, A. D., Kang, J. & Chilakos, A. (2009). The effects of treadmill sprint training and resistance training on maximal running velocity and power. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(2): 385-394.
54. Sheppard, J. (2004). The use of resisted and assisted training methods for speed development: Coaching considerations. *Modern Athlete and Coach*, 42(4), 9-13.
55. 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 & Conditioning Research*, 21(1), 77-85.
56. Tanaka, H. & Swensen, T. (1998). Impact of resistance training on endurance performance: a new form of cross-training? *Sports Medicine*, 25(3), 191-200.

57. Telles, T., Barbosa, A.C., Campos, M.H. & Júnior, O.A. (2011). Effect of hand paddles and parachute on the index of coordination of competitive crawl-strokers. *Journal of Sports Sciences*, 28(4): 431-438.
58. Toussaint, H. M. & Vervoorn, K. (1990). Effects of specific high resistance training in the water on competitive swimmers. *International Journal of Sports Medicine*, 11(3), 228-233.
59. West, D. J., Cunningham, D. J., Bracken, R. M., Bevan, H. R., Crewther, B. T., Cook, C. J. et al. (2012). Effects of resisted sprint training on acceleration in professional rugby union players. *Journal of Strength & Conditioning Research*. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182606cff.
60. Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J. & Wright, S. (2000) Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *Journal of Applied Physiology*, 89: 1991-1999.
61. Young, W., McLean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 35(1), 13-19.
62. Zafeiridis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., Ioakimidis, P., Dipla, K. & Kellis, S. (2005). The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 45(3), 284-290.
63. Zatsiorsky, V. M., & Kraemer, W. J. (2006). *Science and Practice of strength training* (2^a ed.). Leeds: Human Kinetics.
64. Zemkóva, E. & Hamar, D. “All-out” tethered running as an alternative to wingate anaerobic test. *Internacional Journal of Fundamental and Applied Kinesiology*, 2004, 36: 165-172.

OBJETIVOS

General:

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es analizar los efectos agudos en los parámetros técnicos, de tiempo, velocidad de sprint, y RFD, así como su relación con la producción de fuerza y potencia en semi-squat y pruebas de salto vertical.

Específicos:

- Resisar los últimos estudios acerca de los efectos agudos del entrenamiento resistido con trineo y las recomendaciones de carga adecuada (**Revisión sistemática, Artículo I**).
- Analizar la relación existente entre el rendimiento en sprint con trineo y la fuerza dinámica máxima en semi-squat (1 RM (**Artículo II**)).
- Determinar el efecto del aumento de la carga en el trineo sobre la fuerza máxima, RFD, y tiempo a RFD en el inicio del sprint (**Artículo III**).
- Analizar las diferencias en el aumento del tiempo de sprint con el incremento de la carga en trineo y su relación con el rendimiento en pruebas de salto vertical (**Artículo IV**).

MATERIAL Y METODO

A continuación se presenta el material y métodos utilizados en las distintas investigaciones que componen la memoria de Tesis.

Tabla 2. Tabla resumen de la metodología utilizada en la memoria de Tesis.

Artículo	Diseño Experimental	Sujetos	Variables	Test
Efectos agudos del trabajo resistido mediante trineo: Una revisión sistemática	Revisión	No aplicable	No aplicable	No aplicable
Interrelationships between different loads in resisted sprint, half-squat 1 RM and kinematic in trained athletes	Inter-sujeto correlacional	21 hombres (7 atletas de velocidad, 14 futbolistas) 17.86 ± 2.27 años 1.77 ± 0.06 m; 69.24 ± 7.20; 59.68 ± 22.61 kg 1RM	TS 20 m (0 – 30% PC) FC (0 – 30% PC) LC (0 – 30% PC) 1 RM semi-squat	20 m sprint (0, 5, 10, 15, 20, 25, 30% PC) 1 RM semi-squat
Effects of sled towing on sprint performance, force and rate of force development in acceleration phase	Cuasi-experimental inter-sujeto	23 atletas (17 hombres y 6 mujeres) Hombres: 17.9 ± 3.3 años; 1.79 ± 0.06 m; 69.4 ± 6.1 kg Mujeres: 17.2 ± 1.7 años; 1.65 ± 0.04 m; 56.6 ± 2.3 kg	TS 20 m (0, 10, 20% PC) TS 30 m (0, 10, 20% PC) Fmax, RFD, Tiempo RFD en el primer paso	30 m sprint (0, 10, 20% PC)
Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise	Inter-sujeto correlacional	8 atletas hombres 18.6 ± 3.7 años; 1.79 ± 0.07 m; 73.4 ± 9.8 kg	TS 20 m; TS 30 m; Ratio de incremento de tiempo en sprint resistido (0 – 20% PC); P, Pr y HJ en CMJ, SJ y SJ120	30 m sprint (0, 10, 20% PC) CMJ, SJ y SJ120

TS= Tiempo de sprint; PC = Peso Corporal; FC= Frecuencia de carrera; LC= Longitud de zancada; Fmax= Fuerza máxima; RFD= ratio de producción de fuerza (Rate of Force Development); P= Potencia máxima en el salto; Pr= Potencia máxima relativa en el salto; HJ= altura del salto; CMJ= Salto con contramovimiento; SJ= Squat jump desde 90° de flexión, SJ120= Squat jump desde 120° de flexión.

Tabla 3. Tabla resumen de la metodología de la revisión sistemática (Artículo I).

Título	Publicaciones seleccionadas	Palabras Clave	Estudios Seleccionados
Efectos agudos del trabajo resistido mediante trineo: Una revisión sistemática	Enero 1985 – Noviembre 2012 SportDiscus y MEDLINE/PubMed	Sprint Running Resisted Training Sled Towing Resisted Sprint Resisted Sprinting	7 estudios de trabajo resistido en carrera con trineo

A continuación se presenta el diseño y la distribución temporal de las distintas mediciones realizadas en los tres estudios experimentales de la memoria de Tesis (artículo II, III y IV).

Interrelationships between different loads in resisted sprint, half-squat 1 RM and kinematic in trained athletes (*Interrelación entre diferentes cargas en sprint resistido, 1 RM en semi-sentadilla y variables cinemáticas en atletas entrenados*) (**Artículo II**)



Figura 2. Diseño de la investigación artículo II, distribución temporal de las mediciones.

Effects of sled towing on sprint performance, force and rate of force development in acceleration phase (*Efectos del arrastre de trineo sobre el rendimiento, fuerza y ratio de producción de fuerza en la fase de aceleración*) (**Artículo III**)

Las mediciones realizadas para el desarrollo del artículo III se llevaron a cabo en una única sesión, de esta forma se realizó en primer lugar la valoración antropométrica, para la determinación de las cargas a utilizar en el trineo en relación al peso corporal de cada deportista y posteriormente el test de velocidad resistida con arrastre de trineo, compuesto de 4 sprint de 30 m, de orden aleatorio (Figura 3).

Test - Sesión Única

- Valoración antropométrica
 - Talla y Peso
- Test Velocidad Resistida 30m
 - Cargas: Sin carga, 10%, 15% y 20% PC

Figura 3. Mediciones realizadas artículo III. PC = Peso Corporal

Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise

(Efecto de la potencia explosiva en miembros inferiores sobre el tiempo de sprint en arrastre de trineo) (Artículo IV)

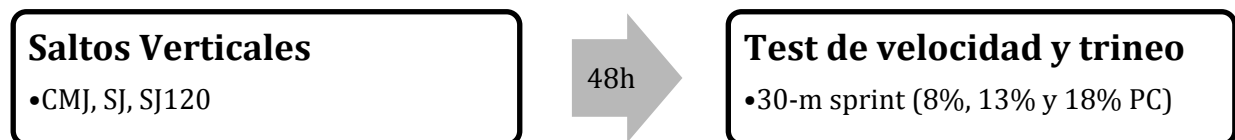


Figura 4. Diseño de la investigación artículo IV, distribución temporal de las mediciones.

PC = Peso corporal

Sujetos

La muestra que participó en los estudios que componen la memoria de Tesis estuvo compuesta por deportistas hombres y mujeres, jugadores de fútbol y atletas. Para la selección de la muestra se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Deportistas con al menos tres años de experiencia en el entrenamiento de velocidad.
- Participación en competiciones nacionales y actualmente en activo.

Se excluyeron aquellos deportistas que padecían síntomas o signos de lesión, o aquellos que finalizaban un proceso de readaptación tras una lesión.

Los participantes recibieron detallada información verbal, acompañada de una hoja informativa acerca de los protocolos del estudio en el que participaron. Se obtuvo el consentimiento informado por escrito una vez firmado por todos los participantes, y la aprobación del Comité Ético de Investigación de la Universidad de Castilla La Mancha.

En la Tabla 4 se muestra el número y las características de los sujetos que tomaron parte en el desarrollo de los estudios de la presente memoria de Tesis.

Tabla 4. Características de la muestra de los estudios que componen la memoria de Tesis.

Estudios	Características de los sujetos	
Interrelationships between different loads in resisted sprint, half-squat 1 RM and kinematic in trained athletes	21 hombres:	7 atletas (20.21 ± 1.80 años; 1.82 ± 0.03 m; 71.94 ± 8.38 kg; 1 RM 176.43 ± 22.42 kg) 14 futbolistas (16.53 ± 0.64 años; 1.75 ± 0.05 m; 67.97 ± 6.52 kg; 1 RM 151.87 ± 18.58 kg)
Effects of sled towing on sprint performance, force and rate of force development in acceleration phase	23 atletas:	17 hombres (17.9 ± 3.3 años; 17.9 ± 0.06 m; 69.4 ± 6.1 kg) 6 mujeres (17.2 ± 1.7 años; 1.65 ± 0.04 m; 56.6 ± 2.3 kg)
Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise	8 atletas: hombres velocistas	18.6 ± 3.7 años; 1.79 ± 0.07 m; 73.4 ± 9.8 kg

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusión de los distintos estudios que componen la presente memoria de Tesis se presentan en la forma en que han sido sometidos en revistas científicas. De esta forma, a continuación se desarrollan los 4 trabajos.

El estudio 1 ha sido enviado en la revista *Cultura, Ciencia y Deporte* (Martínez-Valencia et al., 2013, en revisión).

El estudio 2 ha sido aceptado en la revista *European Journal of Sport Science*, publicación oficial del ECSS (*European College of Sport Science*) (Martínez-Valencia et al., 2011), por ello se muestra el *reprint* de dicho artículo original (Anexo I).

El estudio 3 ha sido enviado en su primer manuscrito oficial a la revista *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (Martínez-Valencia et al., 2012, en revisión).

El estudio 4 ha sido aceptado en la revista *Science & Sports* (Martínez-Valencia et al., 2013), los autores no disponen del *reprint* de dicho artículo, por lo que se adjunta en su última versión aceptada.

EFFECTOS AGUDOS DEL TRABAJO RESISTIDO MEDIANTE TRINEO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

(Acute effect of sled-towing exercise: A systematic review)

Martínez-Valencia MA, González-Ravé JM, Navarro Valdivielso F, Alcaraz PE

(Artículo I)

TITULO: EFECTOS AGUDOS DEL TRABAJO RESISTIDO MEDIANTE TRINEO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

TITLE: ACUTE EFFECT OF SLED-TOWING EXERCISE: A SYSTEMATIC REVIEW.

AUTORES: María Asunción Martínez-Valencia¹, José María González-Ravé¹, Fernando Navarro Valdivielso¹, Pedro Alcaraz Ramón²

¹Laboratorio Entrenamiento Deportivo, Departamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte, Universidad de Castilla La Mancha, Toledo

²Laboratorio de Biomecánica, Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte, Universidad Católica San Antonio, Murcia

TITULO ABREVIADO: Revisión: Trabajo resistido

SHORT TITLE: Review: Sled-towing exercise

Autor para correspondencia:

María Asunción Martínez Valencia

Avda. Carlos III, s/n. Antigua Fábrica de Armas.

45071 Toledo

m.asuncion.martinez@gmail.com

Tlf: 925268800

TITULO: EFECTOS AGUDOS DEL TRABAJO RESISTIDO MEDIANTE TRINEO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA.

RESUMEN

El objetivo de esta revisión es analizar la literatura científica en relación a los efectos que el trabajo con sobrecarga tiene sobre el rendimiento en velocidad, potencia y producción de fuerza así como la situación actual en relación a la carga adecuada de entrenamiento. Se emplearon las bases de datos internacionales MEDLINE/PubMed y SportDiscus entre 1985 y 2012 utilizándose las siguientes palabras clave: “Sprint Running”, “Resisted Training”, “Sled Towing”, “Resisted Sprint”, “Resisted Sprinting”. Se identificaron 7 investigaciones que cubrían los criterios establecidos. Los resultados muestran un completo acuerdo en cuanto al criterio de selección de cargas, todas los estudios utilizan el peso corporal (PC) con cargas entre 5% y 30%. Y las recomendaciones para el diseño del entrenamiento resistido con trineo se centran principalmente en la utilización de cargas inferiores al 13% PC, de esta manera se evita una disminución de la velocidad por encima del 10% manteniéndose el patrón técnico de carrera. La ausencia de estudios que ahonden en la relación del trabajo resistido y variables de fuerza o potencia, dificulta la determinación de cuál sería la carga adecuada para la optimización de la fuerza y potencia específica en el sprint, limitando la utilización de cargas altas en programas de entrenamiento con arrastre de trineo.

Palabras Clave: sprint resistido, trineo, entrenamiento resistido, rendimiento sprint.

ABSTRACT

The present review aims to analyse the research studies related to resisted sprint methods and their effects on sprint performance, power output and strength, also the current situation in the use of the optimal load in resisted sprint training. The data were obtained from an analysis carried out in databases MEDLINE/PubMed and SportDiscus, from 1985 to 2012, in English with the words “Sprint Running”, “Resisted Training”, “Sled Towing”, “Resisted Sprint” y “Resisted Sprinting”. Seven studies were selected as they included a sled-towing exercise in sprinting. Results showed up an agreement regarding the load’s standard in sled-towing, all investigations used loads between 5% and 30% of body mass (Bm). Recommendations to set up loads in resisted sprint training focus on resistance lower than 13% of (Bm), in order to avoid greater effects on sprinting velocity up to 10% and the athlete’s movement patterns remain similar to unloaded sprinting. The lack of research focused on the relationship between sled-towing exercise and power output and strength’s variables makes difficult to set up the load to optimized specific strength and power in sprinting, thus the use of higher load in resisted sprint training programs remains limited.

Key words: resisted sprint training, sled-towing exercise, sprint performance

INTRODUCCIÓN

El sprint es una cualidad importante en el rendimiento de muchos deportes, tanto de equipo como individuales (Hay, 1994; Majdell & Alexander, 1991; Young, McLean & Ardagna, 1995), además esta cualidad esta presente en gran parte de las acciones decisivas de estas especialidades.

Con el principal objetivo de mejorar el rendimiento en el sprint, son diversos los medios de entrenamiento de fuerza y potencia que se pueden encontrar. El trabajo tradicional de fuerza se ha orientado hacia el desarrollo de la fuerza con cargas altas, por otro lado, el entrenamiento de potencia se ha realizado con cargas ligeras con el fin de aumentar la fuerza a altas velocidades y desarrollar el ratio de producción de fuerza (RFD). Por otra parte, el entrenamiento pliométrico se ha establecido para mejorar el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA), para aumentar la estimulación neuro-muscular y por tanto la producción de fuerza, y finalmente el entrenamiento de fuerza mediante la utilización del patrón específico de movimiento de la especialidad deportiva que deriva en un perfeccionamiento del propio patrón motor y mejora de la coordinación en la aplicación de fuerza (Weyand et al., 2000). Para este último objetivo, se ha propuesto que uno de los métodos de entrenamiento más específicos debería ser el trabajo resistido en velocidad con arrastres de trineo.

Se considera el trabajo resistido como aquel ejercicio realizado contra una resistencia añadida a la resistencia natural de la propia ejecución del gesto deportivo (Giroid et al., 2007). En esta línea, encontramos investigaciones que muestran que este tipo de trabajo mejora la fuerza muscular (Alcaraz, Elvira & Palao, 2012; Harrison & Bourke, 2009; Lockie, Murphy, Schultz, Knight & Campus, 2012; Spinks, Murphy, Spinks & Lockie, 2007) y favorece una

mayor activación neural y reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (Faccioni, 1994; Jakalski, 1998)

Son diversas las investigaciones que ahondan en el conocimiento sobre los efectos que este medio de entrenamiento produce, centrándose principalmente sobre la pérdida de velocidad máxima (Alcaraz, Palao & Elvira, 2009; Lockie, Murphy & Spinks, 2003) y la cinemática de carrera (Alcaraz, Palao, Elvira & Linthorne, 2008; Cronin, Hansen, Kawamori & McNair, 2008; Maulder, Bradshaw & Keogh, 2008; Murray et al., 2005) como elementos de control de la intensidad, de tal forma que ambos parámetros se han convertido en los que rigen la cuantificación del trabajo resistido. Sin embargo, este criterio está basado en observaciones prácticas más que en resultados científicos.

Aunque existen algunas revisiones previas sobre las características de este tipo de trabajo, así como los diferentes medios de aplicación de resistencia y efectos sobre parámetros técnicos y de velocidad, durante estos últimos años se ha observado un aumento en estudios experimentales sobre el trabajo resistido, por ello es necesaria una actualización que incluya las investigaciones publicadas al respecto. La presente revisión sistemática pretende clarificar los efectos que el trabajo con sobrecarga tiene sobre el rendimiento en velocidad, potencia y producción de fuerza así como la situación actual en relación a la carga adecuada de entrenamiento.

MÉTODO

Selección de los estudios

Para la obtención de las investigaciones científicas en relación al trabajo resistido se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica exhaustiva, incluyendo los estudios publicados entre

enero de 1985 y noviembre de 2012. Se emplearon las bases de datos internacionales MEDLINE/PubMed y SportDiscus, utilizando las palabras clave que aparecen en la figura 1.

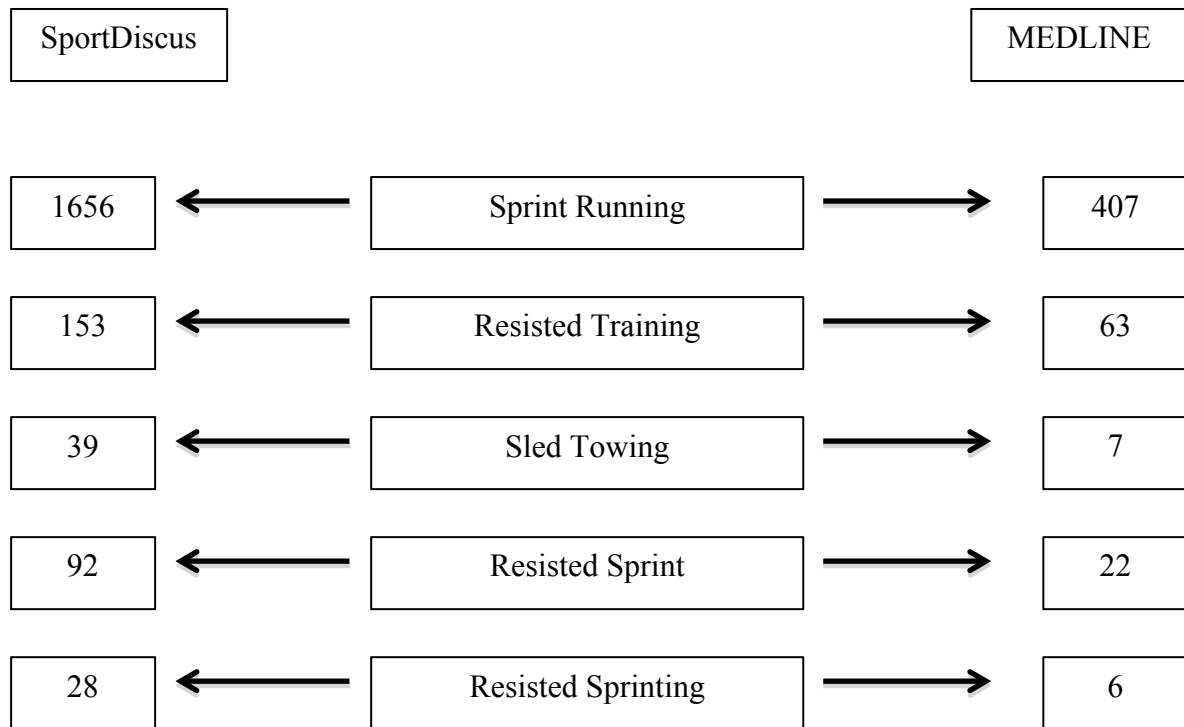


Figura 1. Número de artículos científicos encontrados en cada base de datos (SportDiscus o MEDLINE/PubMed) en relación a las palabras clave empleadas.

En primer lugar fueron identificados los títulos y resúmenes de los estudios seleccionados para establecer su relevancia. A continuación se analizaron los listados de referencias de las revisiones más relevantes y se identificaron los estudios de trabajo resistido con trineo.

Criterios para inclusión y exclusión de los estudios

Para la presente revisión sistemática fueron incluidas las investigaciones publicadas en revistas de lengua inglesa con revisión por pares a doble ciego, que utilizaban un protocolo de trabajo resistido realizado con arrastre de trineo en carrera, se descartaron aquellos estudios

que utilizan otros medios de aplicación de carga como paracaídas, chaleco, pendiente positiva, etc. La especialidad deportiva practicada por los participantes no fue tomada en cuenta a la hora de seleccionar los estudios, sin embargo, solo se incluyeron aquellas investigaciones llevadas a cabo con sujetos participantes en competiciones deportivas. Se excluyeron aquellos artículos que no se centraran en el trabajo resistido, sino en trabajo de fuerza mediante otros ejercicios (saltos, entrenamiento tradicional de fuerza, etc.) y aquellos estudios que no incluyeran la carrera como medio principal sino otras especialidades deportivas (natación, hockey, etc.).

Análisis de la revisión de la literatura científica

Los artículos encontrados fueron analizados detenidamente en cuanto a: 1) la metodología de los diferentes protocolos de ejercicio resistido, 2) los efectos que el incremento de la carga tiene sobre las variables analizadas en la literatura, 3) la relación del trabajo con cargas con variables de fuerza o potencia.

RESULTADOS

En la figura 1 se detallan el número de artículos científicos encontrados en cada base de datos (SportDiscus y Medline) en base a las palabras clave empleadas. Una vez finalizado el proceso de selección de las investigaciones, se identificaron 8 investigaciones que cubrían los criterios establecidos (Figura 2).

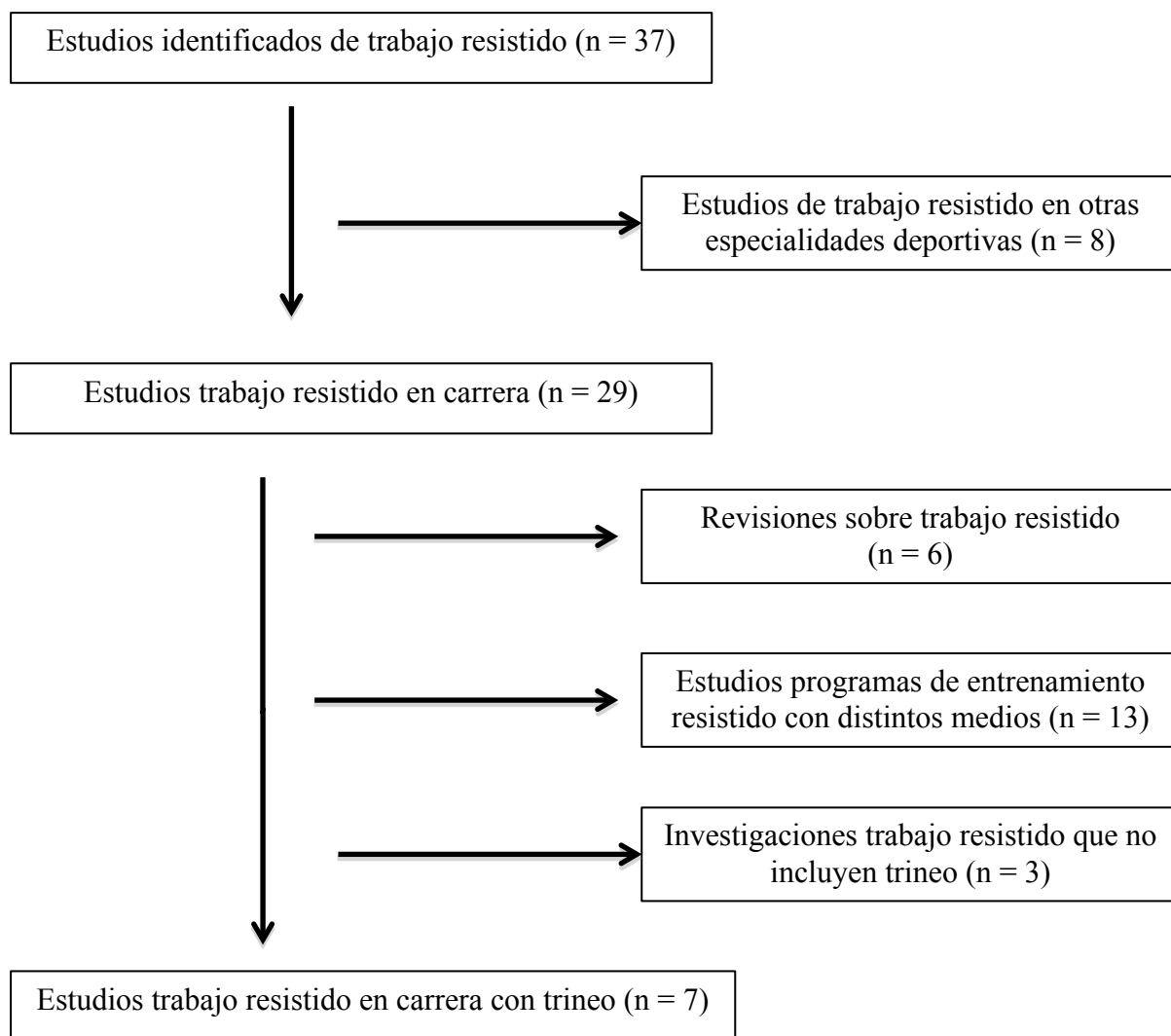


Figura 2. Proceso de selección de los estudios.

Actualmente existen pocos estudios que hayan examinado los efectos conjuntos del trabajo resistido mediante la utilización del trineo y su influencia sobre el rendimiento en velocidad, variables de fuerza o potencia. Por otro lado, existe un vacío en relación a la carga adecuada a utilizar en el trineo. Se ha establecido la pérdida de velocidad como el criterio a tener en cuenta, basándose en observaciones realizadas por los propios entrenadores principalmente sobre patrones técnicos. Sin embargo, no se ha comprobado cual podría ser la carga que optimizara el rendimiento derivando en una mejora de la activación neural y

reclutamiento de unidades motoras como se describe en la literatura (Faccioni, 1994) y por tanto en el incremento de la fuerza muscular aplicable a la propia carrera.

A continuación se va a proceder al análisis de las investigaciones encontradas en relación a los efectos agudos derivados del trabajo resistido en carrera mediante la utilización del trineo.

Lockie et al. (2003) plantearon como principal objetivo dotar a la comunidad científica de una ecuación que facilite y permita calcular la resistencia en función del porcentaje de velocidad sobre el que se quiere trabajar. Para ello desarrolla en primer lugar, un estudio piloto con 10 deportistas (hombres, hockey hierba, rugby, fútbol Australiano y soccer) sobre una distancia de 15 m y con cargas de entre el 5 y 20% PC (incrementos del 5%), del cual obtiene la siguiente ecuación: $\%PC = -1.96 \cdot \% \text{ velocidad} + 188.99$, donde % velocidad es la velocidad para el entrenamiento como porcentaje de la velocidad máxima. Posteriormente se llevo a cabo un estudio con 20 deportistas hombres (deportes de equipo en hierba) con el fin de comprobar que las cargas calculadas mediante la ecuación derivaban en la correspondiente pérdida de velocidad en la fase de aceleración (15 m). En este sentido se utilizaron cargas relativas al 12.6 y 32.2% PC. Conjuntamente se llevó a cabo un análisis cinemático, y con una segunda cámara se obtuvieron las variables de frecuencia de carrera, longitud de zancada, tiempo de vuelo y contacto en la primera y segunda zancada.

Los resultados muestran una disminución significativa de la velocidad con ambas cargas con respecto al sprint libre, y entre ambas. Además, la disminución obtenida se corresponde en gran medida con la predicha por la ecuación (91% vs. 90%; 76% vs. 80%).

Respecto a las variables técnicas, tanto la frecuencia como la longitud disminuyen significativamente en relación al sprint sin carga. La longitud se ve afectada en un 10% para la primera carga y un 25% en la segunda. Los autores determinan que el aumento de la carga afecta en mayor medida a la longitud de zancada. Mientras que el tiempo de vuelo solo disminuye significativamente con la carga superior, el tiempo de contacto si aumenta significativamente con ambas resistencias.

El aumento de la carga provoca en el deportistas un aumento significativo en la inclinación del tronco, pasando de 39.1° en el sprint libre de carga a 42.4° con 12.6% y 45° con 32.2% PC.

Murray et al. (2005) llevaron a cabo un protocolo de sprint con cargas incrementales (0 a 30% PC) con un grupo de jugadores de rugby (13) y fútbol (20) sobre una distancia de 20 m. Los sujetos realizaron dos series de siete sprints. Se uso un diseño balanceado para establecer el orden de las resistencias. El protocolo siguió el siguiente diseño: se llevó a cabo la primera serie de 7 sprints con un descanso de 4 minutos entre repeticiones, y tras 10 minutos de recuperación se realizó la segunda serie con el mismo diseño.

Los resultados muestran un incremento en el tiempo de ejecución tanto en 10 como en 20 m. Sin embargo el análisis de modelo lineal generalizado de medidas repetidas reveló que dicho incremento era más o menos constante durante los siete sprints. Los tiempos registrados en el segundo test fueron significativamente más lentos a los de la primera medición.

La frecuencia y longitud de zancada muestran una disminución significativa, aunque esta parte del estudio solo se llevó a cabo con 13 sujetos. Murray et al. (2005) mantienen que

la ausencia de un efecto cuadrático y sí de un modelo de aumento lineal en las variables analizadas no permite establecer que el incremento de la resistencia hasta el 30% PC produzca de manera significativa una disminución en la longitud o frecuencia de carrera diferente a la producida por un modelo lineal de resistencia.

Cronin et al. (2008) centraron su investigación en la comparación de dos cargas (15 y 20% PC) aplicadas con dos medios distintos, trineo y chaleco lastrado sobre distancias de 10 y 30 metros. El estudio se llevó a cabo con la participación voluntaria de 20 deportistas (16 hombres y 4 mujeres) de diversas especialidades (10 velocistas, 2 velocistas de playa y 8 jugadores de rugby). Los resultados muestran un aumento significativo en el tiempo tanto en 10 como en 30 m con las dos cargas analizadas en relación con el sprint libre de carga. Por otro lado no se encuentran diferencias significativas si comparamos ambas cargas (15 vs. 20% PC), ni con la utilización del trineo y el chaleco, pero sí es significativamente más lento el sprint realizado con trineo que con chaleco para la carga del 15% PC. No se realizaron análisis estadísticos en cuanto al porcentaje de velocidad resultante de la aplicación de las distintas resistencias. Sin embargo, a través de los datos se puede obtener que la carga del 20% PC en trineo provoca una reducción del 16% de la velocidad sin carga.

En relación al análisis cinemático, se realizó una filmación en el eje sagital realizada en tres momentos del sprint, 5, 15 y 25 m desde el inicio de la carrera. Las variables analizadas fueron: frecuencia de carrera, longitud de zancada, tiempo de contacto y tiempo de vuelo, y los ángulos del tronco, muslo, rodilla y tobillo al principio y final de la fase de contacto (apoyo y despegue del pie).

Los resultados cinemáticos muestran una disminución significativa tanto de la frecuencia como la longitud con ambas resistencias y medios con respecto al sprint sin carga en las tres distancias analizadas. Además, la longitud de zancada con 20% PC en trineo es significativamente inferior a las otras tres situaciones resistidas. Mientras que el tiempo de contacto aumenta significativamente si comparamos todas las situaciones resistidas con la libre de carga en todas las distancias, lo contrario ocurre con el tiempo de vuelo. Si tenemos en cuenta el efecto del incremento de la carga en cada uno de los medios, los resultados revelan que el tiempo de apoyo con trineo aumenta significativamente (20 vs 15% PC), mientras que el chaleco no tiene efectos significativos. Referente a la posición del cuerpo durante la carrera, los resultados más destacables muestran que la posición del tronco es más vertical con el uso del chaleco que con el trineo, difiriendo significativamente este último con el sprint libre de carga. Estos resultados se repiten en la articulación de la rodilla, produciendo el trineo un aumento significativo de la flexión en el momento del contacto.

Alcaraz et al. (2008) buscaron establecer los efectos que producen tres medios diferentes de aplicación de cargas en comparación con el trabajo sin sobrecarga. En este sentido se destacan los resultados obtenidos con la utilización del trineo. Un total de 11 hombres y 7 mujeres formaron parte del estudio, los participantes eran atletas especializados en velocidad y salto de longitud con experiencia previa en velocidad resistida. La carga utilizada se correspondió con el 16% PC que a su vez suponía una disminución teórica del 10% sobre la velocidad obtenida en el sprint sin resistencia. La medición se llevo a cabo sobre una distancia de 30 m lanzados con 20 m previos de carrera que los atletas realizaron con zapatillas de clavos. Conjuntamente con la utilización del sistema de fotocélulas se dispuso de una cámara digital para la filmación y posterior análisis de las variables cinemáticas.

Los resultados muestran que los efectos de los tres sistemas utilizados (trineo, cinturón lastrado y paracaídas) sobre la cinemática de carrera fueron similares para hombres y mujeres. En relación al efecto sobre la velocidad de carrera, se observa una disminución por parte de los tres medios, sin embargo, solo existen diferencias significativas entre el trineo y el sprint libre de carga, con una disminución del 12% sobre la velocidad sin carga en hombres, y del 14% en mujeres. En hombres también disminuye significativamente (5%) el rendimiento en velocidad con el paracaídas. De la misma manera ocurre con la longitud de carrera, con una disminución significativa de la misma con la utilización del trineo con respecto al sprint de referencia. Por otro lado, la frecuencia de carrera disminuyó pero no significativamente con los diferentes dispositivos utilizados.

A nivel general, el análisis cinemático revela que el sprint con trineo afecta en mayor medida sobre las variables analizadas (inclinación del tronco y velocidad del centro de gravedad) que la utilización del cinturón o paracaídas. En este sentido, el trineo produce una disminución de la velocidad del centro de gravedad así como mayor inclinación del tronco en hombres, mientras que en mujeres solo se observan diferencias significativas en la velocidad del centro de gravedad.

Alcaraz et al. (2009) llevaron a cabo un estudio piloto con el fin de comprobar la validez de la ecuación obtenida por Lockie et al. (2003), sobre la misma distancia de 15 m y con atletas especialistas en pruebas de velocidad. Los autores concluyen que dicha ecuación nos permite prescribir la carga a utilizar en el trineo con un error de $\pm 2.2\%$ sobre la velocidad estimada. En segundo lugar, la investigación llevo a cabo una nueva valoración con el objetivo de obtener una ecuación que permite calcular las cargas en el trineo para la fase de máxima velocidad, para una población de atletas especializados en velocidad, saltos y pruebas

combinadas. Para la obtención de la ecuación se utilizaron las siguientes cargas: 6, 10 y 15% PC. Los atletas realizaron un sprint lanzado sobre 30 m con 20 m previos, y utilizaron sus propias zapatillas de clavos. La ecuación resultante fue: $\% \text{ PC} = -0.8674 \cdot \% \text{ velocidad} + 87.99$. En relación a los resultados obtenidos, se observó una disminución en la velocidad máxima, así como del tiempo en 30m. Una carga del 6% PC supone una disminución del 7.4% en la velocidad máxima, mientras que con el 10% PC la disminución es del 10.5% y un 15% PC del 15.4% sobre la velocidad máxima.

Las investigaciones realizadas hasta el momento se han centrado en analizar los efectos del trabajo resistido en trineo con cargas inferiores al 30% PC, por lo que en este sentido destaca el estudio desarrollado por Keogh, Newlands, Blewett, Payne & Chun-Er (2010) donde se utilizan cargas más elevadas. Para ello, 8 hombres con experiencia en el entrenamiento con cargas participaron voluntariamente en el estudio. Se utilizó una única resistencia de 171.2 kg para todos los deportistas, los cuales realizaron 3 sprint sobre 25 m. La posición de salida fue de cuatro apoyos debido a la elevada resistencia del trineo que se aplicó mediante un arnés en los hombros. Para la filmación técnica se utilizaron dos cámaras, una para la fase de aceleración (0 – 5 m) y otra para la de máxima velocidad (20 – 25 m). Los resultados muestran un rango de tiempo de entre 10 y 40 segundos para completar los 25 m, sin embargo la gran parte de las mediciones se situaron entre 12 y 18 segundos. La fase de aceleración se caracteriza significativamente por una menor velocidad media, longitud de zancada y tiempo de vuelo que la fase de máxima velocidad. Aunque no se han encontrado diferencias significativas, se observa una posición más vertical del tronco en la fase de máxima velocidad y mayor ángulo de extensión en muslo y rodilla tanto en el despegue como en el inicio del contacto. La ausencia de medición sobre un sprint sin resistencia impide conocer el efecto de la utilización de cargas elevadas sobre la velocidad y técnica de carrera.

Si los trabajos anteriores muestran el efecto del trabajo con trineo en la fase de aceleración o velocidad máxima, Maulder et al. (2008) se centraron sobre los efectos producidos en la salida de tacos en velocistas. Se contó con la participación de 10 atletas velocistas que realizaron un total de 12 sprint sobre 10 m, cuatro en cada una de las tres situaciones establecidas: libre, 10 y 20 % PC. Para unir el trineo al deportista se utilizó una cuerda de 30 m. La disposición de los tacos de salida se ajustó a las preferencias individuales de los atletas, el descanso entre cada repetición fue de 2 – 3 minutos, y las pruebas se realizaron con zapatillas de clavos. Para el posterior análisis se utilizaron los dos sprints más rápidos de cada situación. Se dispusieron de dos cámaras para la filmación de la acción inicial así como de los primeros pasos en la aceleración. Para la evaluación del tiempo invertido en 10 m, la medición se inició con una señal de salida recogida a través de un micrófono.

Los resultados muestran un aumento significativo del tiempo en 10 m para ambas resistencias, 10 y 20% PC, el aumento del tiempo se registra en un 8% aproximadamente para la carga del 10% y del 14% en el sprint con el 20% PC. La velocidad en 10 m, la velocidad y aceleración inicial también disminuyen significativamente con el incremento de la carga. En relación a los efectos sobre las variables cinemáticas en la salida, se muestra que la carga del 10% PC implica unos efectos moderados mientras que la carga del 20%PC deriva en alteraciones significativas en el tiempo total de despegue de los tacos de salida. En cuanto a la longitud de zancada, no se observaron cambios significativos con la primera carga, y con el 20% solo se ven afectados la longitud entre el paso 2 y 3 y entre 3 y 4. La frecuencia de carrera, tiempo de contacto, tiempo de vuelo y distancia de contacto no presentan alteraciones significativas, y en este sentido, únicamente la distancia de vuelo (distancia horizontal

recorrida por el centro de gravedad durante la fase de vuelo) disminuye significativamente con el 20% PC.

DISCUSIÓN

Entre enero de 1985 y noviembre de 2012, empleando las bases de datos SportDiscus y MEDLINE se identificaron 8 estudios científicos que analizaran el efecto del trabajo con sobrecarga aplicada mediante el arrastre de trineo, lo que indica que aún es escasa la evidencia científica acerca de los efectos que este tipo de trabajo tiene sobre los deportistas.

Como características general de todos los estudios, las cargas utilizadas en el trineo se han establecido como porcentaje del peso corporal (PC), bajo la consideración de que los atletas más grandes tienden a generar una mayor fuerza muscular; sin embargo, Linthorne & Cooper (2012) encontraron que a pesar de aplicar la carga en el trineo relativa al peso corporal de los atletas, todavía se observaban diferencias en el efecto que produce sobre el incremento del tiempo entre deportistas, los autores cuantifican dicho efecto mediante la variable ratio de incremento en el tiempo de sprint. Los autores mantiene la hipótesis de que estas diferencias pueden deberse al nivel de potencia individual de los deportistas. En este sentido, se puede considerar que el establecimiento de la resistencia en el trineo en función del peso corporal no justifica un efecto homogéneo en los distintos atletas, aunque sea un criterio ampliamente utilizado en la literatura, de esta manera, tendría sentido definir la carga en función del perfil individual de fuerza-velocidad y no del peso corporal de sujeto (Murray et al., 2005). En relación a esta hipótesis, Letzelter, Sauerwein & Burger (1995) y Martínez-Valencia, González-Ravé, Juárez, Alcaraz & Navarro-Valdivielso (2011) muestran que el aumento en el tiempo y deterioro en el rendimiento en el sprint con el aumento de la carga en trineo, no se debe a factores de fuerza máxima (fuerza isométrica y 1RM semi-squat) o

velocidad (tiempo en 30 m y 20 m sprint, respectivamente), así estos resultados favorecen la idea inicial de Linthorne & Cooper (2012). Por otro lado, se ha demostrado que el aumento en el tiempo es directamente proporcional al incremento de la carga en el trineo (Cronin et al., 2008; Murray et al., 2005).

Estudios experimentales de entrenamiento resistido con trineo, han descrito mejoras en el rendimiento en pruebas de salto vertical (DJ) tras 6 semanas (Harrison y Bourke, 2009; Lockie, et al., 2012), y un incremento en la potencia mecánica en semi-squat y SJ modificado (120° de flexión) tras 4 semanas (Alcaraz et al., 2012), resultados que apoyan la hipótesis inicial de que el entrenamiento resistido produce una mayor activación neural y reclutamiento de unidades motoras, y por tanto un incremento de la fuerza muscular, sin embargo, no se encuentran investigaciones que busquen la relación entre variables de fuerza y el trabajo con sobrecarga. Por otro lado, se desconoce el efecto que el aumento de la carga produce sobre variables de fuerza y potencia durante la carrera, mediante análisis directo de la producción de fuerza en sprint con la utilización de plataformas de fuerzas o dinamómetros, elemento que podría favorecer el conocimiento sobre la carga adecuada a utilizar en el entrenamiento resistido con trineo. En este sentido, el entrenamiento resistido debería orientarse a mejorar la potencia del deportista en el sprint, por lo que se consideran necesarios estudios que determinen la potencia desarrollada con el arrastre de trineo.

En el trabajo con sobrecarga, la velocidad se ha considerado como el indicador indirecto de la intensidad del ejercicio, de esta manera, las recomendaciones a la hora de implementar la carga se han establecido en función del efecto sobre el rendimiento en el sprint sin carga, bien sea mediante la velocidad máxima o velocidad medida en la distancia recorrida, siendo el 90% de la velocidad máxima el criterio considerado adecuado en la

literatura. Bien es así, que la mayoría de los estudios experimentales utilizan la carga propuesta por Lockie et al. (2003) mediante su ecuación, 12,6 – 13% PC, describiendo mejoras en el rendimiento en la fase de aceleración (Harrison y Bourke, 2009; Lockie et al., 2012; Spinks et al., 2007; West et al., 2012). La ausencia de investigación que utilizan cargas superiores al 15% PC, impide conocer el efecto que cargas más elevadas tendrían sobre el rendimiento en velocidad, fuerza o potencia, y cual sería el nivel de afectación de la técnica.

CONCLUSIÓN

En base a la literatura, se puede establecer que las recomendaciones para el diseño del entrenamiento resistido con trineo se centran principalmente en la utilización de cargas inferiores al 13% PC, de esta manera se evita una disminución de la velocidad por encima del 10% manteniéndose el patrón técnico de carrera. Sin embargo, la ausencia de estudios que describan la relación entre este tipo de trabajo y variables de fuerza o potencia, no permite conocer cual sería la carga adecuada de trabajo, así como el desconocimiento del efecto que el aumento de la carga en el trineo provocaría en la producción de fuerza o activación neuromuscular, dificultan la utilización de cargas altas en programas de entrenamiento con arrastre de trineo. Por lo tanto, pese a que se han descrito mejoras en el rendimiento en velocidad con programas de entrenamiento resistido, existe un gran vacío en relación a cual sería la carga óptima, establecida de manera individual en función del perfil fuerza-velocidad de los deportistas.

REFERENCIAS

1. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res*, 23(2), 480-485.
2. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2012). Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short-term sled towing training in athletes. *Scand J Med Sci Sports*. DOI: 10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x.
3. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., & Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res*, 22(3), 890-897.
4. Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sport Biomech*, 7(2), 160-172.
5. Faccioni, A. (1994). Assisted and resisted methods for speed development: Part 2. *Mod Athl Coach*, 32(3), 8-12.
6. Girold, S., Maurin, D., Dugué, B., Chatard, J-C., & Millet, G. (2007). Effects of dry-land vs. resisted- and assisted-sprint exercises on swimming sprint performances. *J Strength Cond Res*, 21(2), 599-605.
7. Harrison, A. J., & Bourke, G. (2009). The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res*, 23(1), 275-283.
8. Hay, J. G. (1994). *The biomechanics of sports techniques* (4^a ed.). Nueva Jersey: Prentice Hall.
9. Jakalski, K. (1998). The pros and cons of using resisted and assisted training methods with high school sprinters: parachutes, tubing and towing. *Track Coach*, 144, 4585-4589; 4612.

10. Keogh, J. W. L., Newlands, C., Blewett, S., Payne, A., & Chun-Er, L. (2010). A kinematic analysis of a strongman-type event: the heavy sprint-style sled pull. *J Strength Cond Res*, 24(11), 3088-3097.
11. Letzelter, M., Sauerwein, G., & Burger, R. (1995). Resistance runs in speed development. *Mod Athl Coach*, 33, 7-12.
12. Linthorne, N. & Cooper, J. E. (2012). Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sport Biomech*. DOI:10.1080/14763141.2012.726638.
13. Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 26(6), 1539-1550.
14. Lockie, R. G., Murphy, A., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res*, 17(4), 760-767.
15. Majdell, R., & Alexander, M. J. L. (1991). The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J Hum Movement Stud*, 21(1), 19-39.
16. Martínez-Valencia, M. A., González-Ravé, J. M., Juárez, D., Alcaraz, P. E., & Navarro-Valdivielso, F. (2011). Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes. *Eur J Sports Sci*. DOI:10.1080/17461391.2011.638935.
17. Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. W. L. (2008). Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *J Strength Cond Res*, 22(6), 1992-2002.

18. Murray, A., Aitchison, T. C., Ross, G., Sutherland, K., Watt, I., McLean, D., et al. (2005). The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *J Sports Sci*, 23(9), 927-935.
19. 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. *J Strength Cond Res*, 21(1), 77–85.
20. Young, W., McLean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 35(1), 13-19.
21. West, D. J., Cunningham, D. J., Bracken, R. M., Bevan, H. R., Crewther, B. T., Cook, C. J., et al. (2012). Effects of resisted sprint training on acceleration in professional rugby union players. *J Strength Cond Res*. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182606cff.
22. Weyand, P. G., Sternlight, D. B., Bellizzi, M. J., & Wright, S. (2000). Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol*, 89, 1991-1999.

**INTERRELATIONSHIPS BETWEEN DIFFERENT LOADS IN RESISTED SPRINT,
HALF-SQUAT 1 RM AND KINEMATIC VARIABLES IN TRAINED ATHLETES**

(Interrelación entre diferentes cargas en sprint resistido, 1 RM en semi-sentadilla y variables cinemáticas en atletas entrenados)

Martínez-Valencia MA, González-Ravé JM, Juárez D, Alcaraz PE, Navarro-Valdivielso F.

(Artículo II)

Interrelationships between different loads in resisted sprint, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes

María Asunción Martínez-Valencia¹, José María González-Ravé¹, Daniel Juárez Santos-García¹, Pedro E. Alcaraz Ramón², Fernando Navarro-Valdivielso¹

¹Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Toledo, Spain

²Biomechanics Laboratory, Faculty of Health and Sport Sciences, San Antonio Catholic University of Murcia, Guadalupe, Murcia, Spain

Corresponding Author:

José M. González-Ravé, Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Avenida Carlos III s/n Toledo, Spain.

E-mail: JoseMaria.Gonzalez@uclm.es

ABSTRACT

Resisted sprint running is a common training method for improving sprint-specific strength. It is well-known that an athlete's time to complete a sled-towing sprint increases linearly with increasing sled load. However, to our knowledge, the relationship between the maximum load in sled-towing sprint and the sprint time is unknown. The main purpose of this research was to analyze the relationship between the maximum load in sled-towing sprint, half-squat maximal dynamic strength and the velocity in the acceleration phase in 20-m sprint. A second aim was to compare sprint performance when athletes ran under different conditions: un-resisted and towing sleds. Twenty-one participants (17.86 ± 2.27 years; 1.77 ± 0.06 m and 69.24 ± 7.20 kg) completed a one repetition maximum test (1 RM) from a half-squat position (159.68 ± 22.61 kg) and a series of sled-towing sprints with loads of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30% body mass (Bm) and the maximum resisted sprint load. No significant correlation ($P < 0.05$) was found between half-squat 1 RM and the sprint time in different loaded conditions. Conversely, significant correlations ($P < 0.05$) were found between maximum load in resisted sprint and sprint time (20-m sprint time, $r = -0.71$; 5% Bm, $r = -0.73$; 10% Bm, $r = -0.53$; 15% Bm, $r = -0.55$; 20% Bm, $r = -0.65$; 25% Bm, $r = -0.44$; 30% Bm, $r = -0.63$; MaxLoad, $r = -0.93$). The sprinting velocity significantly decreased by 4-22% with all load increases. Stride length (SL) also decreased (17%) significantly across all resisted conditions. In addition, there were significant differences in stride frequency (SF) with loads over 15% Bm. It could be concluded that the knowledge of the individual maximal load in resisted sprint and the effects on the sprinting kinematic with different loads, could be interesting to determinate the optimal load to improve the acceleration phase at sprint running.

Keywords: Sled towing, sprinting kinematics, velocity

INTRODUCTION

The ability to achieve a high maximum sprinting velocity is an important determinant of success in sports such as athletics, soccer and other team sports (Alcaraz, Palao, Elvira, & Linthorne, 2008). Sprint running performance is the product of stride frequency (SF) and stride length (SL) with numerous components influencing this apparently simple formula (Ross, Leveritt, & Riek, 2001). Performance in sprint exercise has traditionally been thought to be largely dependent on genetic factors; however, other mechanisms of adaptation are required and this likely includes neural improvements (Ross et al., 2001).

Resisted sprint towing has become a specific strength training method for sprinters (Alcaraz et al., 2008; Delecluse, 1997; Zafeiridis et al., 2005). This training mode for athletes is believed to increase strength, SL (Alcaraz et al., 2008) and SF (Alcaraz et al., 2008; Clark, Stearne, Walts, & Miller, 2010; Zafeiridis et al., 2005).

In field sports, speed plays a pivotal role. Whether it was to escape a tackle or to get into position for a pass, speed and acceleration are vital for success. So, resisted sprint towing is also used in training for field sports.

Different devices are used to apply the resistance, being the most popular sled towing. Several studies have examined the effects of sled towing on sprint performance (Alcaraz et al., 2008; Alcaraz, Palao & Elvira, 2009; Cronin, Hansen, Kawamori, & McNair, 2008; Letzelter, Sauerwein, & Burger, 1995; Lockie, Murphy, & Spinks, 2003; Maulder, Bradshaw, & Keogh, 2008; Murray et al., 2005). Some studies have attempted to find the appropriate load for resisted sprinting (Alcaraz et al., 2009; Lockie et al., 2003; Spinks, Murphy, Spinks, & Lockie, 2007), but the resistance was calculated as a percent of Bm. Different studies

suggest that to maintain load specificity in sprints, horizontal velocity should not fall below 90% of the athlete's maximum velocity (Alcaraz et al., 2008; Letzelter et al., 1995).

In this sense, Lockie et al. (2003) explored the effects of sled towing on acceleration sprint kinematics in field-sport athletes, and presented an equation that relates the reduction in running velocity to the weight of the sled.

Conversely individual force ability has not been considered in the mentioned studies. Strength usually increases with body mass, thus a movement follows Newton's second law of motion $F=m \cdot a$, where 'm' is mass and 'a' is acceleration. The force is proportional to the mass (inertia). As the body mass is typically selected as a parameter of a motor task, the force determines the acceleration. Murray et al. (2005) suggested assigning loads as a of strength, and Letzelter et al. (1995) used maximal static strength of the leg extensors at angle in knee and hip joints to ascertain whether the tempo reduction and changes in stride variables were dependent on maximal strength, finding a lack of correlations between maximal strength and sprint performance. Murray et al. (2005) suggested that the use of one-repetition maximum squat may be more appropriate and practical than an isometric test, as questions related to the selected muscle groups and speed of test would need to be resolved. The literature has focused on the use of absolute and relative resistance and the effects on sprinting kinematics, but an appropriate criterion to apply loads correctly is needed. Alcaraz et al. (2009) suggested load control is essential to ensure the specificity of resisted sprint training method.

Previous research on the maximum velocity phase supports the contention that when towing a sled with a resistance that reduces the athlete's velocity by more than 10% of unloaded sprinting maximal velocity, there are substantial changes to the athlete's sprinting

mechanics (Alcaraz et al., 2008). A possible reason for the variation in performance is that some of the heavier players may not be as strong as some of the lighter players and vice versa (Murray et al., 2005), and the use of a leg strength measurement and the assigning of the loads as a proportion of strength on the test may have been better (Murray et al., 2005).

Keeping this in mind, the purpose of this research was to compare sprint performance over 20 m when athletes ran under different conditions: un-resisted and towing sleds with loads between 5 and 30% Bm. A secondary aim was to ascertain the relationship between maximal strength and resisted sprinting, to determine whether resisted sprinting loads should be applied in relation to individual's maximal dynamic strength (1 RM).

METHODS

To analyze the kinematics of acceleration of field sport athletes and runners while towing a sled of varying resistances (5-30% Bm), an experimental design was used. The variations of athlete's sprint time, SL and SF were measured in relation to their un-resisted sprint time. The loads from 5 to 30% Bm were used for the analyses with maximum resisted sprint load. This load was determined as the load that made athletes unable to increase their velocity in the last 5m-sprint. Furthermore, half-squat 1 RM was assessed to ascertain the relationship between resisted sprint velocity and the level of maximal strength in the lower limbs.

Each of the two test sessions was performed over a 5-day period, following the same order of assessments: Day 1: half-squat 1 RM and Day 2: 20 m sprint acceleration in un-resisted and resisted conditions.

Subjects

Twenty-one male volunteers were recruited for the study (17.86 ± 2.27 years; 1.77 ± 0.06 m; 69.24 ± 7.20 and 1 RM 159.68 ± 22.61 kg). Seven participants were active competitive athletes who specialised in sprint run (20.21 ± 1.80 years; 1.82 ± 0.03 m; 71.94 ± 8.38 kg and 1 RM: 176.43 ± 22.42 kg), and 14 were soccer players of national competitive level (16.53 ± 0.64 years; 1.75 ± 0.05 m; 67.97 ± 6.52 kg and 1 RM: 151.87 ± 18.58 kg). All had 3 years previous experience in their respective sports. None of the subjects had previously performed any sled towing training. Each participant gave his written informed consent to participate in this study before testing. Ethical approval was obtained for all testing procedures from the Castilla La Mancha University ethics committee.

Procedures

The study was performed in three separated days over a 5-day period, with 48 h-rest between them. Subjects performed a familiarisation session in the first day, half squat 1 RM in second day and resisted sprint test in the third day.

Anthropometric information was collected in the familiarisation session prior to strength testing. Height and body mass (Seca 720, Vogel & Halke, Germany) were recorded. Then the subjects were familiarised with the maximal muscular strength assessment of the lower extremity muscles (half-squat 1 RM test) during several sub maximal and maximal actions. The familiarisation was performed in the same conditions that test would be carried out in second day.

During the first testing session (second day) each subject was tested for his half-squat 1 RM. Subjects completed a 5-minute warm-up on a stationary bike at a standardised

resistance (50 W) and a cadence of 70 rpm (McBride, Nimphius, & Erickson, 2005). Following this, the subjects completed one set of 5-10 repetitions of the squat with light load (40-60% of predicted 1 RM) and one set of 2-3 repetitions with moderate load (60-80% of predicted 1 RM). Each set was separated by a two-minute rest period (Thomas et al., 2007).

A detailed description of the half-squat 1 RM can be found in Thomas et al. (2007). The half-squat was performed in a Smith machine (Multipower, Salter, Barcelona, Spain), with linear bearings on two vertical bars allowing only vertical movements. The subject had to descend to the point where the tops of the thighs were parallel to the floor and perform a concentric leg extension (as fast as possible), to reach 180° of leg extension against the resistance determined by the weight plates added to both ends of the bar. The shoulders were in contact with the bar. Thereafter, four to five separate single attempts were performed. The last acceptable single repetition with the highest possible load was determined as one-repetition maximum. The 1 RM half-squat in relation to body mass was calculated, dividing the maximum load between body mass. Each attempt was separated by a three-minute rest period.

During the second testing occasion (third day) the sprint time of each subject was assessed for both unresisted and resisted conditions. The sprint time was evaluated with a 20 m sprint effort using a system of photocells (Newtest Powertimer 300, Newtest Oy, Finland) placed at 2 and 22 m to record the participants' sprint times over 20 m. Other photocells were used to measure sprint times between 2 and 7, 12, 17 and 22 m to record the participants' sprint times over 5 m (Figure 1). A high-speed camera (Casio High Speed Exilim EX-F1, Casio, Tokyo, Japan) operating at 300 fps was used to analyze the SL and SF. The camera was set at a height of 0.85 m. The placement of the camera was 5 m from the end of the

recorded section of the run as shown in Figure 1. The participants were recorded for the entire run, although their strides were only counted from the moment they crossed the line at 2 m to when they crossed the line at 22 m. If the feet did not land exactly on either line, then half strides were counted (Murray et al., 2005).

The SL and SF were determined as follows: $SL = \text{distance}/\text{stride number}$; $SF = \text{stride number}/\text{time}$.

When the average speed in the 4th section is lower than 3rd section, the load towed was determined as the maximum resisted sprint load.

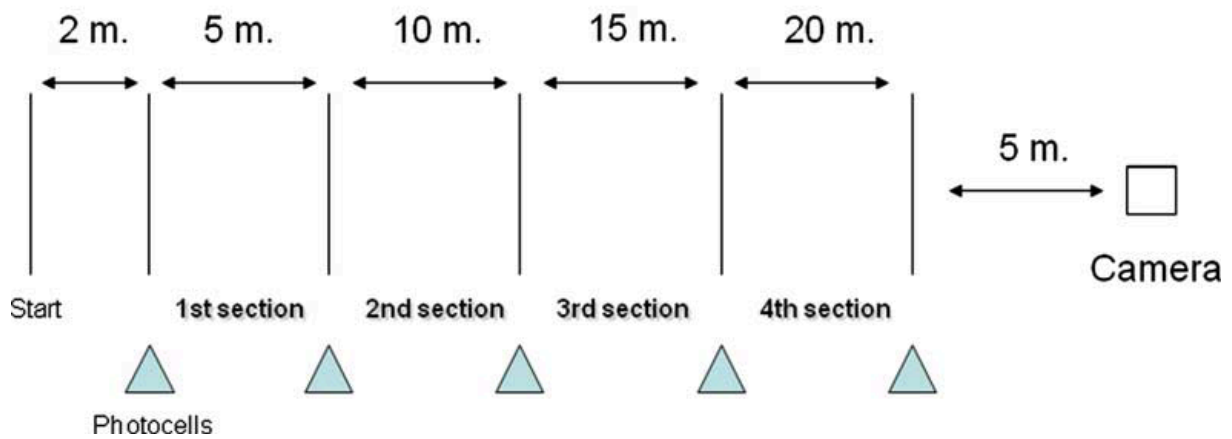


Figure 1. Scenario of the 20 m acceleration sprint

The participants completed a 10 minute standardised running warm-up prior to the sprints consisting of 4 minutes of running with a heart rate of 140 bpm and two sub maximal sprints unloaded and two sub maximal sprints with a loaded sled (5% Bm), immediately prior to the test. The rest between sprints was 2 minutes. The participants completed two sprint efforts at their maximum speed and the best sprint was used for analysis. In the resisted sprint test the loads were applied with a weighted sled (Byomedic, Barcelona, Spain) attached to the athlete by a 2.7 m cord and waist harness. The weighted sled was comprised of a smooth surface about 0.4 m long and 0.3 wide. The sprint trials were conducted on a Mondo athletics

track in an outdoor athletics stadium.

Loads were increased by 5% Bm, until the participant was unable to keep increasing his speed, so the sprint time from the last 5 m (17_22 m) was higher than the sprint time from 12 to 17 m. The sprint time was measured in every section of 5 m during the 20 m acceleration test (Figure 1). All athletes completed the test until the 30% Bm despite their loss of speed on the previous loads, to obtain data from all towing loads. The load that made athletes unable to increase their speed in relation to the last section was determined as the maximum resisted sprint load.

To determine whether the velocity reduction and the changes in SF and SL were dependent on maximal strength, two different performance groups (high and low strength level) were compared. The distribution criterion was the maximum strength in the half-squat and participants grouped above and below the median value.

Statistical analyses

Mean and standard deviations were calculated for each of the dependent and independent measures for each condition. Normal distribution and homogeneity of the parameters were checked with Shapiro-Wilks and Levene's test. According to the result, a repeated-measures ANOVA with Bonferroni post hoc contrasts was used to determine whether there was a significant effect of sprint load on sprinting kinematics _ sprint time, SF and SL.

A two factor (group x load) repeated-measures ANOVA with Bonferroni post hoc contrasts was used to determine if maximal strength affects the variables of interest across

resisted loads. Pearson's correlation was used to determine the relationship between load and velocity variables in sprint, resisted sprint and half-squat. All statistical procedures were performed using SPSS for Windows 17.0 using an alpha level of 0.05.

RESULTS

All the variables had normally distributed data. The effects of resisted sprinting on SL, SF and sprint time over 20 m are shown in Table I. Sprint time was significantly higher ($P < 0.001$) than in all the loaded conditions. The decrease in running velocity arose through decreases in both SL (~2 to ~17%) and SF (~2 to ~7%). All loads reduced SL significantly as compared to the unloaded sprinting, and between loads, except between 30% Bm and maximum resisted sprint load. SF was significantly lower to the unloaded condition at loads higher than 15% Bm. A significant decrease ($P < 0.05$) was found between 5% and loads bigger than 30% Bm.

Table I. Mean \pm SD sprinting velocity, stride length and stride frequency across different resisted loads (n = 21)

	Resisted sprint load							
	Unloaded	5% Bm	10% Bm	15% Bm	20% Bm	25% Bm	30% Bm	MaxLoad
Sprint time, s	2.885 \pm 0.086	3.006 \pm 0.115***	3.099 \pm 0.130***	3.196 \pm 0.110***	3.277 \pm 0.136***	3.371 \pm 0.133***	3.463 \pm 0.153***	3.739 \pm 0.390***
Stride length, m	1.58 \pm 0.11	1.55 \pm 0.10*	1.52 \pm 0.10***	1.48 \pm 0.11***	1.44 \pm 0.10***	1.42 \pm 0.10***	1.40 \pm 0.10***	1.32 \pm 0.12***
Stride frequency, Hz	4.40 \pm 0.31	4.32 \pm 0.27	4.26 \pm 0.27	4.24 \pm 0.28**	4.23 \pm 0.26*	4.18 \pm 0.26**	4.15 \pm 0.25***	4.10 \pm 0.31***

Bm = body mass

*Statistically significant difference (P < 0.01) from unloaded sprinting.

**Statistically significant difference (P < 0.01) from unloaded sprinting.

***Statistically significant difference (P < 0.001) from unloaded sprinting.

Subject characteristics and strength values, and their distribution between a high and low strength group can be observed in Table II. Although significant differences were found between sprint time, SL and SF across loads these variables were not significantly different between the high and low strength groups. Therefore, these differences were not substantiated by the level of maximal strength in half-squat (Figure 2 and Table III).

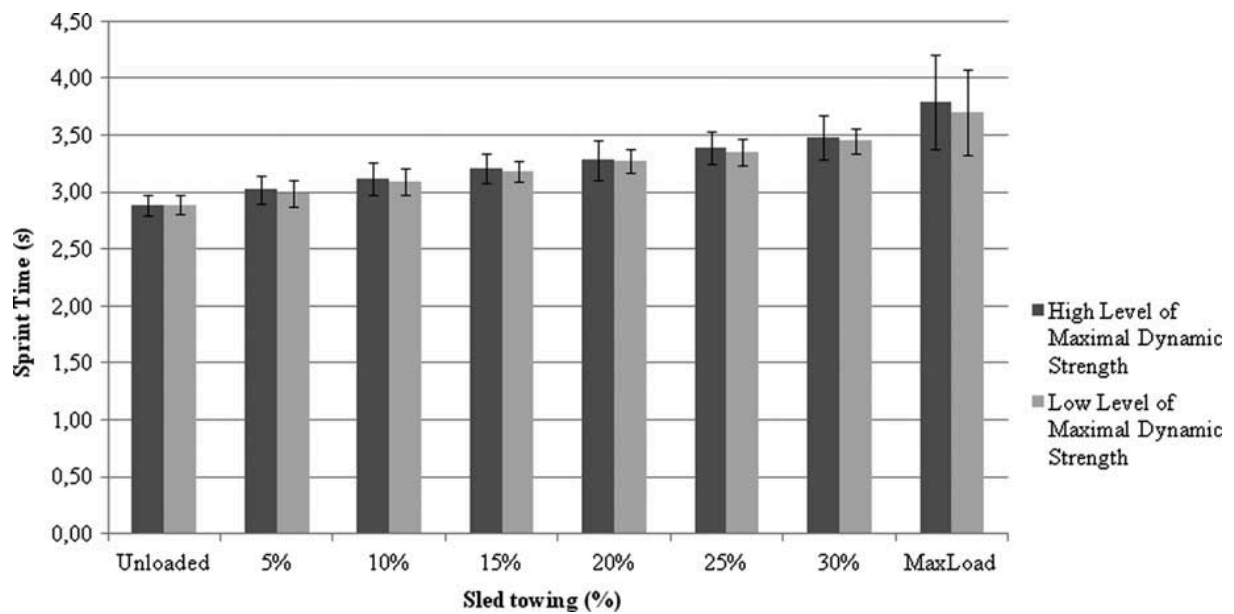


Figure 2. Mean \pm SD sprint velocity depending on the sample 1 RM level: High vs. low level of maximal dynamic strength.

Table II. Mean \pm SD age, body mass, height and 1 RM for high and low strength groups (n= 21)

	Age (years)	Body mass (Kg)	Height (m)	1 RM (kg)
High level (n = 10)	19.38 \pm 2.26	73.11 \pm 7.07	1.77 \pm 0.05	184.13 \pm 13.21
Low level (n = 11)	17.00 \pm 1.95	66.76 \pm 6.70	1.76 \pm 0.07	143.85 \pm 10.66

Table III. Mean \pm SD stride frequency and stride length in the maximal strength level groups (n = 21)

	Stride frequency		Stride length	
	High level	Low level	High level	Low level
Unloaded	4.38 \pm 0.40	4.41 \pm 0.27	1.59 \pm 0.12	1.58 \pm 0.11
5%	4.28 \pm 0.31	4.35 \pm 0.25	1.54 \pm 0.10	1.55 \pm 0.09
10%	4.19 \pm 0.28	4.31 \pm 0.27	1.53 \pm 0.11	1.52 \pm 0.09
15%	4.18 \pm 0.25	4.28 \pm 0.30	1.50 \pm 0.12	1.48 \pm 0.11
20%	4.24 \pm 0.25	4.23 \pm 0.28	1.44 \pm 0.11	1.46 \pm 0.10
25%	4.12 \pm 0.18	4.21 \pm 0.30	1.43 \pm 0.11	1.42 \pm 0.11
30%	4.07 \pm 0.20	4.19 \pm 0.28	1.41 \pm 0.11	1.39 \pm 0.10
MaxLoad	4.11 \pm 0.32	4.09 \pm 0.31	1.33 \pm 0.18	1.31 \pm 0.08

A significant correlation was obtained between maximal load in resisted sprint and sprint time unloaded and loaded ($P < 0.05$ in 10% and 25% Bm, $P < 0.01$ in 15% and 30% Bm, $P < 0.001$ in unloaded, 5, 20% Bm and maximal load). Therefore, there was no significant correlation between half-squat variables and sprinting ability in loaded and unloaded conditions. No significant correlation was also found between half-squat 1 RM in relation to body mass and sprint ability (Table IV).

Table IV. Correlation between maximal strength and 1 RM in half-squat test, maximal load in resisted sprint and sprinting velocity in unloaded and loaded conditions

	1 RM	1 RM/Bm	MaxLoad (Resisted sprint)	Time unloaded	T5% Bm	T10% Bm	T15% Bm	T20% Bm	T25% Bm	T30% Bm	TMax Load
1 RM	1										
1 RM/Bm	0.712***	1									
MaxLoad (Resisted sprint)	-0.027	0.711***	1								
Time unloaded	-0.054	0.041	0.706***	1							
T5%Bm	0.071	0.054	0.734***	0.876**	1						
T10%Bm	0.029	0.158	-0.528*	0.668**	0.818***	1					
T15%Bm	0.025	0.065	-0.555**	0.635***	0.723***	0.771***	1				
T20%Bm	-0.090	-0.042	-0.650***	0.712***	0.779***	0.826***	0.920***	1			
T25%Bm	-0.045	0.126	-0.440*	0.640***	0.638***	0.785***	0.858***	0.835***	1		
T30%Bm	-0.105	-0.051	-0.629**	0.649***	0.732***	0.796***	0.871***	0.910***	0.887***	1	
TMaxLoad	0.077	0.153	0.932***	-0.490*	-0.468*	-0.248	-0.336	-0.463	-0.214	-0.4371	

Bm, body mass; T, sprint time.

***Correlation is significant at the 0.001 level (2-tailed).

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)

DISCUSSION

This research has shown that the increase in loads involves a decrease in sprint performance over 20 m when athletes ran under different conditions: unresisted and towing sleds with loads between 5 and 30% Bm. Previous studies have suggested that resisted sprinting with sled significantly reduces sprint ability (Alcaraz et al., 2009; Letzelter et al., 1995; Lockie et al., 2003; Maulder et al., 2008, Murray et al., 2005) according to the present study.

In our study, a significant decrease was shown in SL with additional loading. These effects were found in other studies with sleds (Alcaraz et al., 2009; Corn & Knudson, 2003; Cronin et al., 2008; Lockie et al., 2003; Murray et al., 2005). A possible explanation is that working out with excessive loads in sled towing induces significant increases in centre of gravity vertical oscillation and significant reductions in SL (Alcaraz et al., 2009).

In addition, SF did not decrease significantly with loads under 15% BM; however, a significant decrease at the SF was observed with loads higher than 15% BM. Similar decreases in SF were found in other studies using loads between 12 and 32% BM (Alcaraz et al., 2008; Lockie et al., 2003). Conversely to these results, Lockie et al. (2003) reported that a higher SF is performed to compensate the effects in SL (Lockie et al., 2003).

In our study, the increase in sprint time with loads lower than 15% Bm could be a consequence of a reduction in SL; however, the increase in sprint time with loads higher than 15% Bm could be a function of reductions in SL and SF, according to the study of Lockie et al. (2003).

Additional loads may be said to increase muscular force output leading to a potential increase in SL over time (Faccioni, 1994; Lockie et al., 2003). In the current study, a non-significant correlation was found between maximal strength in half-squat and the speed recorded in towing resistances or SL and SF. This coincides with the work by Letzelter et al. (1995) where the differences found in sprint time cannot be substantiated by the level of maximal strength.

After analyzing the differences between the strongest subject's group and the less strong subject's group, non-significant differences were observed. The relationship between maximal strength in half-squat and the sprint performance seems not to be clear, as there are some studies showing contradictory results on this issue (Baker & Nance, 1999; Juárez et al., 2008; Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004; Young, McLean, & Ardagna, 1995). Anyway, it is necessary to bear in mind that the relationship between the maximal strength and the sprint performance is influenced for the variables analyzed and the characteristics of the subjects (i.e. body mass). To determine if this relationship could be affected by body mass a correlation analysis was performed between half-squat 1 RM/Bm and sprint ability. The results showed no significant correlation between them. Cronin and Sleivert (2005) suggest that strength qualities such as impulse, rate of force development of explosive strength may better predict athletic performance and hence it is the development of these qualities that research and strength training should focus on, in future research these strength qualities should be used to determine this relationship.

In this sense, the high and significant correlation found in our study between maximal load in resisted sprint and sprint velocity suggests the use of this measurement to assign loads as a proportion of individual strength. To our knowledge, this relationship has not been

analyzed previously.

It is necessary to take into account that a research limitation of this study was the heterogeneity of participants (soccer players and sprinters). In this sense, different training adaptations in relation to their strength and velocity could be achieved.

CONCLUSION

The 20-m sprint performance decreased with increasing load at resisted running using sled in recreationally active athletes and national competitive level soccer players. SL decreased across all resisted conditions, while the SF increased with loads over 15% Bm.

No significant correlation was found between half-squat 1 RM and the sprint velocity. Conversely, high relationship was found between maximal load in resisted sprint and sprint velocity. The knowledge of the individual maximal load in resisted sprint and the effects on the sprinting kinematic with different loads, could be interesting to determinate the optimal load to improve the acceleration phase at sprint running. The finding supports the use of a training load of approximately 15% Bm for a running distance of 20 m, to improve acceleration phase.

ACKNOWLEDGEMENTS

Thanks to the athletes who participated in the study and their coaches. We would like to thank Alejandro Redondo and Juan Jaime Arroyo for their assistance throughout the data gathering. This research was supported by Universidad Castilla La Mancha, Spain (FPI grant, code: PRINCET 02/11/2007).

REFERENCES

1. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23, 480-485.
2. Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., & Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 890-897.
3. Baker, D., & Nance, S. (1999). The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13, 230-235.
4. Clark, K., Stearne, D., Walts, C., & Miller, A. (2010). The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sled vs. weighted vest. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 3287-3295.
5. Corn, R. J., & Knudson, D. (2003). Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 72-75.
6. Cronin, J., & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Medicine*, 35, 213-234.
7. Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7, 160-172.
8. Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance. *Sports Medicine*, 24, 147-156.
9. Faccioni, A. (1994). Assisted and resisted methods for speed development: Part 2. *Modern Athlete and Coach*, 32, 8-12.

10. Juárez, D., Navarro, F., Aceña, R., Gonzalez-Ravé, J. M., Arija, A., & Muñoz, V. (2008). Relación entre la fuerza máxima en squat y acciones de salto, sprint y golpeo de balón. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 4, 1-12.
11. Letzelter, M., Sauerwein, G., & Burger, R. (1995). Resistance runs in speed development. *Modern Athlete and Coach*, 33, 7-12.
12. Lockie, R. G., Murphy, A., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 760-767.
13. Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. W. L. (2008). Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 1992-2002.
14. McBride, J. M., Nimphius, S., & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 893-897.
15. Murray, A., Aitchison, T. C., Ross, G., Sutherland, K., Watt, I., McLean, D., et al. (2005). The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *Journal of Sports Sciences*, 23, 927-935.
16. Ross, A., Leveritt, M., & Riek, S. (2001). Neural influences on sprint running. *Sports Medicine*, 31, 409-425.
17. 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, 77-85.

19. Thomas, G., Kramer, W., Spiering, B., Volek, J., Anderson, J., & Maresh, C. (2007). Maximal power at different percentages of one repetition maximum: Influence of resistance and gender. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 336-342.
20. 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 Sport Medicine*, 38, 285-288.
21. Young, W., McLean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35, 13-19.
22. Zafeiridis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., Ioakimidis, P., Dipla, K., & Kellis, S. (2005). The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45, 284-290.

**EFFECTS OF SLED TOWING ON SPRINT PERFORMANCE, FORCE AND RATE
OF FORCE DEVELOPMENT IN ACCELERATION PHASE**

*(EFECTOS DEL ARRASTRE DE TRINEO EN EL RENDIMIENTO DE SPRINT, FUERZA Y
RATIO DE PRODUCCIÓN DE FUERZA EN L FASE DE ACELERACIÓN)*

Martínez-Valencia MA, Romero-Arenas S, Elvira JLL, González-Ravé JM, Navarro
Valdivielso F, Alcaraz PE.

(Artículo III)

TITLE: EFFECTS OF SLED TOWING ON SPRINT PERFORMANCE, FORCE AND RATE OF FORCE DEVELOPMENT IN ACCELERATION PHASE

NAME OF THE AUTHORS:

MARIA ASUNCION MARTINEZ-VALENCIA¹, SALVADOR ROMERO-ARENAS², JOSE L.L. ELVIRA³, JOSE MARIA GONZALEZ-RAVE¹, FERNANDO NAVARRO VALDIVIELSO¹, PEDRO E. ALCARAZ²

INSTITUTIONAL AFFILIATION:

¹Sport Training Lab, Faculty of Sport Science, University of Castilla La Mancha, Toledo, Spain

²Biomechanics Laboratory, Department of Physical Activity and Sport Sciences, Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe, Murcia, Spain

³Department of Art, Humanities and Legal Sciences, Physical Education and Sport Area, University Miguel Hernández, Elche, Spain

ADDRESS OF CORRESPONDING AUTHOR:

Maria Asunción Martínez-Valencia.

Faculty of Sport Sciences.

Avenida Carlos III s/n

45071 Toledo (Spain).

Telephone: 0034 925 268800 ext (5519)

Fax: 0034 925 268846

E-mail: m.asuncion.martinez@gmail.com

RUNNING TITLE: EFFECTS OF RESISTED EXERCISE ON SPRINT AND FORCE VARIABLES

EFFECTS OF SLED TOWING ON SPRINT PERFORMANCE, FORCE AND RATE OF FORCE DEVELOPMENT IN ACCELERATION PHASE

ABSTRACT

Resisted sprint training is believed to increase sprinting strength. Therefore, the knowledge of force output in these tasks is essential. The aim of this study was to analyse the effect of sled towing on sprint performance and force production in acceleration phase, when participants ran towing resistances between 0 and 20% of body mass (Bm). For that, twenty three participants (17 men and 6 women; men = 17.9 ± 3.3 years, 1.79 ± 0.06 m and 69.4 ± 6.1 kg; women = 17.2 ± 1.7 years, 1.65 ± 0.04 m and 56.6 ± 2.3 kg) performed four 30-m sprints from a crouch start. Sprint times in 20 and 30-m sprint, maximum force (F_{max}), rate of force development (RFD) and time to RFD in first step were recorded. Relative to unloaded condition, sprint times (20 and 30-m sprint) increased significantly ($p \leq 0.001$). F_{max} increased with loads between 10 and 20% of Bm (from 270.5 ± 101.4 to 408.3 ± 97.8 N), time to RFD (from 0.133 ± 0.044 to 0.163 ± 0.055 s) but not significantly changes were observed. However, RFD increased significantly ($p \leq 0.05$) across all loads. In this sense, the use of load up to 20% Bm might be beneficial for athletes to improve neuromuscular adaptations in early acceleration phase.

KEYWORDS: Athletics, Resisted Sprint, RFD, Load Cell,

INTRODUCTION

The ability to achieve a great deal of acceleration is an important determinant of success in sports such as athletics, soccer, rugby, and American football (5, 13, 21). In athletics events, sprint velocity (60 m and 100 m) is divided in three different phases: acceleration, constant velocity (or maximal velocity) and deceleration. Therefore, these phases should be increased with specific training programs (18, 25, 32).

Most of these training programs to improve sprint running include maximal strength, plyometric and specific strength training. For example, it has been recommended the use of 1) traditional resistance training with heavy loads to develop strength at slow velocities; 2) power training with light resistances and higher velocities to increase force output at the higher velocities and rate of force development (RFD); and, 3) plyometric training to improve stretch-shortening cycle performance increasing the overall neural stimulation of the muscle, and thus force output; and 4) sport specific technique training in order to advance specific skills and coordination of force application (30). Although it is common conditioning practice to use maximum strength exercise, vertical jumps and derivatives, it has been postulated that a more specific training method for sprint would use horizontal force production in unilateral movement, such as load sled towing (resisted sprinting) (12, 33).

Resisted sprinting involves the athlete sprinting with added load, in an attempt to provide velocity and movement pattern specificity during power training for the acceleration phase of sprinting (10). The athletes have to imitate range of motion, body position, muscle activation time and velocity near the competitive velocity (15, 16). Faccioni (11) suggested that resisted sprint exercises recruit more muscle fibers and greater neural activation than the competition situation. This training mode for athletes is believed to increase sprinting

strength, stride length (1, 4, 6) and stride frequency (6, 33). In addition, resisted sprint training exercises are expected to increase the athlete's ability to generate horizontal and vertical sprinting forces, or both, depending on the direction of the applied resistance arising from the training exercise (34). Therefore, adding an extra – load in specific exercises can be an appropriate strategy to achieve this specificity in trained athletes (1, 3).

Several studies have examined the acute changes on acceleration sprint kinematics using sled towing (21, 24, 27). These studies found that towing a weighted sled reduces the athlete's stride length and stride frequency and sprint performance, increases ground contact time, increases the forward lean of the trunk, and produces some changes in the configuration of the athlete's lower limbs during the ground contact phase of the stride. The magnitudes of the effects were dependent on the weight added to the sled, and recommendations were proposed for a load that provides a training stimulus without inducing detrimental changes in sprinting technique (4). Regarding load conditions, the literature focused on the percentage of loss in maximum velocity in a sled towing exercise. In this sense, the recommendations were that load should be lower or equal to achieve 90% of maximum velocity (19, 21) considering the athlete's sprint time as an indirect indicator of the intensity of the exercise (4).

Lockie et al. (21) proposed 12.6% Bm the load that reduced 10% of maximum 15-m velocity, whereas Alcaraz et al. (3) suggested 9.9% Bm in the maximum velocity phase. So, the literature proposed higher load in acceleration phase than maximum velocity phase, but the recommendations were according to the effects on the sprint kinematics. In this regard, Maulder et al. (24) proposed 10% Bm as the load to improve athlete's sprint start and early acceleration performance according to the lack of significant changes in running technique, but also this study suggested that there may be some benefits from training with

approximately 20% Bm load, apart from the “negative” changes in technique. Many studies set the load in sled-towing exercise to a percentage of the athlete’s body mass based on the fact that larger athletes tend to generate greater muscular power output (23). However, no studies have been found that analyse the acute effects of the sled-towing exercise on force or power variables, taking into account the important relationship to sprint performance.

According to the literature (9, 32), maximal force production and RFD were strongly related to tasks such as sprinting, where force production should be ranged between 80 ms and 160 ms (32). Also, no published data from our laboratory have correlated RFD and performance in 5-m sprint and RFD measured with load cell and RFD with force platform, suggesting that this variable may be used as an indicator of resisted sprint performance.

It was hypothesized that sled-towing exercise in acceleration phase would increase RFD when loads higher than 10% Bm are used, and time to reach maximum RFD would enhance using greater loads. Owing to the high relationship between RFD and sprint performance, the aim of the study was to analyse the effects of load increments up to 20% Bm in sled-towing exercise on some strength qualities and sprint performance.

METHODS

Design

In order to analyse the effects of sled towing (10 - 20% Bm) on sprint performance and strength variables, a quasi-experimental cross-sectional design was used. The literature has used running velocity as indirect measure of the overload (4), as well as the effects on sprinting kinematics, suggesting that this velocity should not fall more than 10% (19, 21) without inducing substantial changes in the athlete’s sprinting technique (4). In this

connection, the present study set the load between 10 and 20% Bm to avoid greater loss of velocity and not influence significantly the sprinting technique. According to Lockie et al. (21) sprinting with 12.6% Bm has significant effect on sprinting velocity, and Maulder et al. (24) found that the approximately 20% Bm load induced several changes on sprinting kinematics in the first steps in 10-m sprint. Therefore, the selection of loads was based on those similarly employed in the literature (3, 21, 24, 27).

The literature focused on the effects of load through different types of resisted sprint training devices; sled-towing, weight vest or belt, parachute, sloping surfaces or elastic band, and their effects on the maximum velocity and sprinting kinematics, however, no studies has analyzed the effects of the load increment on maximum force or maximum rate of force development. To assess velocity and strength in sprint with sled towing, participants towed loads of 10, 15 and 20% Bm over 30-m sprints. Each athlete performed un-resisted and resisted sprints conditions in a random order in the same testing session.

Subjects

Twenty three participants (17 men and 6 women) were recruited for the study (men = 17.9 ± 3.3 years, 1.79 ± 0.06 m and 69.4 ± 6.1 kg; women = 17.2 ± 1.7 years, 1.65 ± 0.04 m and 56.6 ± 2.3 kg). The participants were active competitive athletes who specialized in sprinting. Subjects had previously sled-towing training experience. The study was approved by the Human Subjects Ethics Committee of [Name removed for review], the participants were informed of the protocol and procedures prior to their involvement, and written consent to participate was obtained.

Testing procedures

The study was performed in one session. The sprint trials were conducted on an outdoor athletics stadium. Testing was conducted during the pre-season phase of the athlete's training when the athletes were performing resisted, acceleration, and maximum-velocity sprint training. Anthropometric information was collected prior to warm-up. Height and body mass (Seca780, Vogel & Halke, Germany) were measured before commencing the sprint trials to determine the loads relative to 10%, 15% and 20% Bm. After that, the participants performed a specific warm-up consisting of 8 min of running, 8 min of active stretching, 10 min of running technique exercises, and 2 - 4 submaximal and maximal short sprints. The sprint trials were performed using a weighted (4.7 kg) sled (Power Systems Inc., Knoxville, TN) attached to each athlete by a 3.6 m cord and waist harness. Simultaneously, a load cell (MuscleLab, Ergotest Innovation, Norway) was attached between waist harness and cord (Figure 1). Participants wore their own athletic training clothes and spiked sprint shoes.

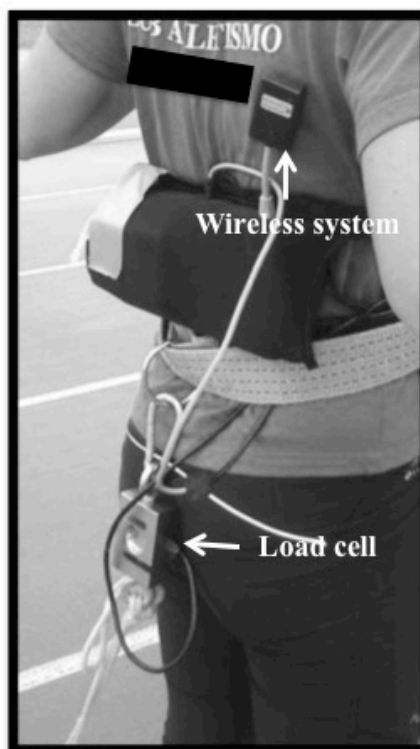


Figure 1. Load cell placement.

The athletes performed four 30-m sprints (unloaded sprints and sprints pulling resistances of 10, 15 and 20% of Bm) from a crouch start. The participants were placed 1 m behind the starting line, avoiding the influence of reaction time. Before starting to run, the athletes were required to pull softly the sled keeping the cord and load cell with a uniform tension. The sprint with load corresponding to 5% Bm was not performed, because the sled mass plus load cell mass (1.5 kg) overcome this resistance. One trial was assessed for each load. The trials' order was randomized for each participant, and a rest period of at least 6 min was given between trials to minimize the effects of fatigue on sprint performance.

In order to record the sprint times over 30-m a photocells system (DSD Lasersystem, DSD S.L., Leon, Spain) was placed at 20 and 30-m (Figure 2). Furthermore, the load cell records changes in force production when the athlete starts to run over first impulse (first step). The force - times traces for the sprints were analyzed to obtain three dependent variables: maximum force (F_{max}), maximum rate of force development (RFD), and time to RFD, all in first step.

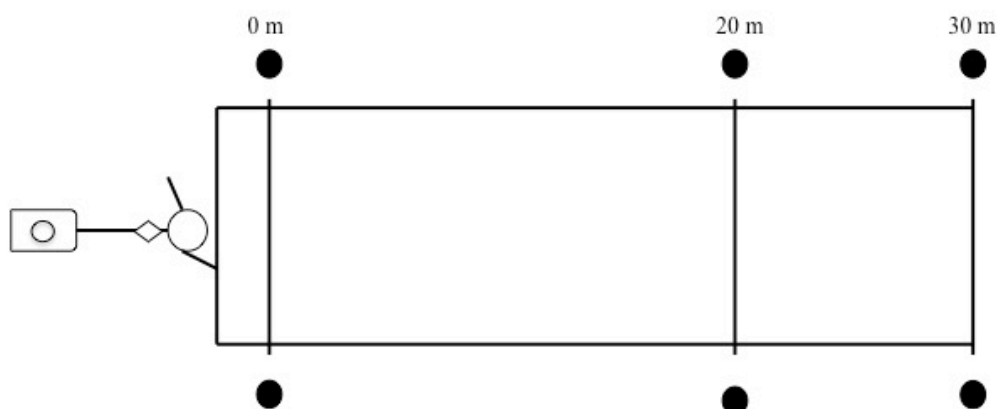


Figure 2. Experimental set-up.

RFD corresponded to the steepest gradient of the force-time curve over a 0.02 s period ($RFD = \Delta F \cdot \Delta t^{-1}$). Time to RFD was obtained by finding the time difference between the start of the sprint and the beginning of the RFD. The start of the sprint was defined as the point where the force reading were greater than the average of the force reading when the subject was static in starting position (Figure 3).

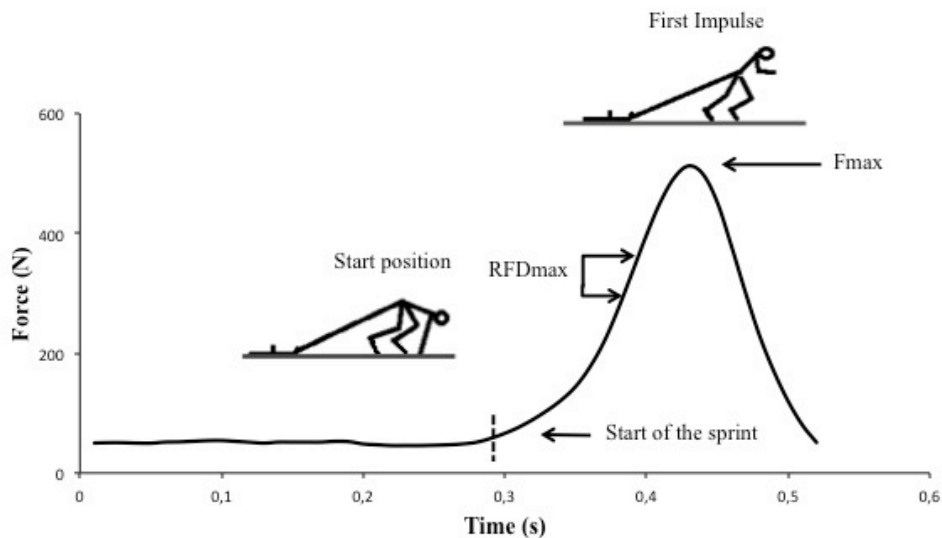


Figure 3. Force-time trace for start in sled-towing exercise, illustrating start of the sprint, RFD and Fmax.

Statistical Analysis

Descriptive statistical methods were used to calculate mean and *SD*. A repeated-measures ANOVA was used to determine whether there was a significant interaction between dependent variables under the various resisted conditions. Significant within-subjects effects were investigated with paired T-test using a Bonferroni adjustment. Power ($1-\beta$) and effect sizes (*d*) were also established, *d* were calculated using Coehn's *d*. The magnitude of the interathlete variation in Fmax, RFD and time to RFD was quantified by calculating the coefficient of variation (CV) of the mean of the strength variables. All statistical analyses

were computed using SPSS 19.0 for Mac OS X (SPSS, Chicago, IL, USA) and the level of significance was set to $\alpha = 0.05$.

RESULTS

The coefficients of variation (CV) for the dependent variables obtained from load cell were 32, 29, and 35%, for the RFD with 10, 15, and 25% Bm, respectively; for the Time to RFD were 33, 27, and 34%, respectively. Finally, the coefficients of variation for the Fmax were 38% in 10% Bm, 16% in 15% Bm, and 24% in 20% Bm.

The results showed that for all increments in resistance resulted in significant increases in sprint time, both in 20-m and 30-m sprints (Figure 4). Towing a sled with a load of 10, 15 and 20% Bm were significantly different from the un-loaded sprint in 20-m ($p < 0.001$; $d = 0.909$; $1-\beta = 1.00$) and 30-m sprint ($p < 0.001$; $d = 0.915$; $1-\beta = 1.00$). In addition, significant differences ($p < 0.05$) were found from each different resisted condition (10, 15, and 20% Bm) in both distances (20, and 30-m sprint).

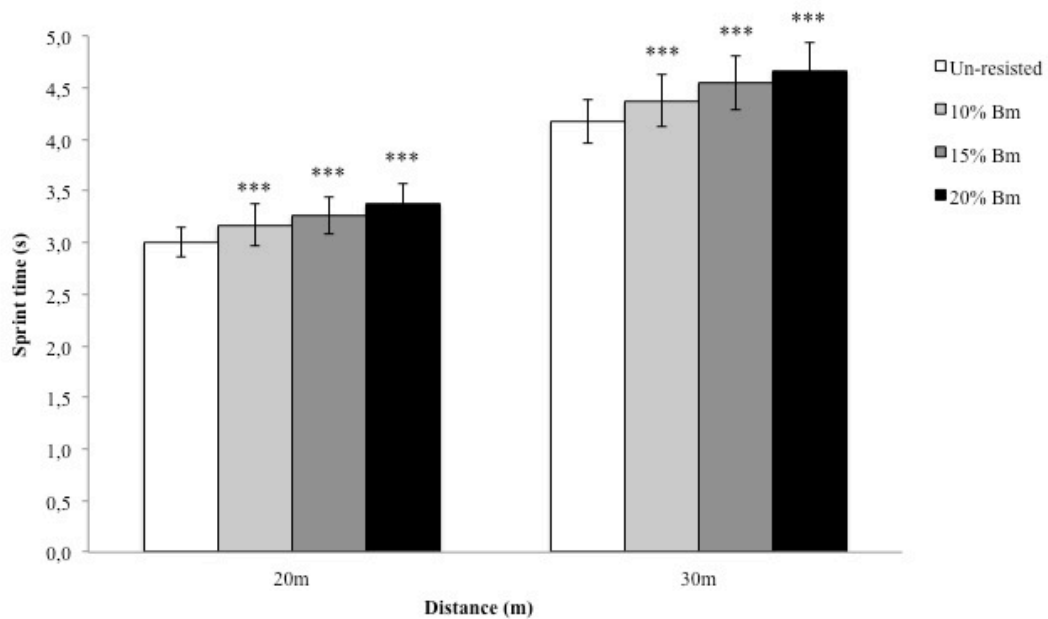


Figure 4. Increments in sprint time across all testing conditions in 20 and 30-m sprint.

*** = significant differences ($p \leq 0.001$) from the unload sprint.

As show in sprint time, the increments in resistance induced significant increases in RFD ($p < 0.05$; $d = 0.748$; $1-\beta = 0.827$) (Table 1). RFD with 15, and 20% Bm significantly rise when compared to RFD with 10% Bm ($p < 0.05$ and $p < 0.01$, respectively).

Table 1. Mean \pm SD RFD_{max}, Time to RFD_{max} and F_{max}

Variable	10% Bm	15% Bm	20% Bm
RFD (N·s ⁻¹)	2286.8 \pm 719.4	3129.4 \pm 894.6*	3892.4 \pm 1377.9**
Time RFD (s)	0.133 \pm 0.044	0.150 \pm 0.041	0.163 \pm 0.055
F _{max} (N)	270.5 \pm 101.4	327.1 \pm 51.8	408.3 \pm 97.8

Bm = Body mass; RFD = rate of force development; Time RFD = time to RFD; F_{max} = maximum force. *p < 0.05; **p < 0.01.

Time to RFD showed increments from 0.134 to 0.163 s when load increased, but no significant differences were found. As expected, maximum force in the first step value was reached with the 20% Bm load, but there were no significant changes in maximum force when increasing resistance (Table 1).

DISCUSSION

When we designed this study we propose the hypothesis that RFD in acceleration phase would increase using loads up to 20% Bm. In these sense, we could consider that the major finding of the present research was that RFD significantly increase when the load increased. Probably, in future studies, if we still increasing the load, it would observe a decrease in RFDmax, suggesting the optimal load to use when towing a sled in acceleration phase.

As mentioned above, we found that RFD significantly increased with loads of 15 and 20% Bm when compared to the 10% load. The possible explanation of the lack of decrease in RFD while increasing the load may be that the load is not sufficient high to produce the

optimal force development; even though the load was increase up to 20% Bm the muscle recruitment is still occurring. Another explanation may be based on the impulse-momentum relationship (17), in this regard Hunter et al. (14) reported increases in sprinting speed occur as a result of an increase in the propulsive forces and RFD. According to that, the use of higher sled pull may be useful conditioning exercise for many athletes. Unfortunately, we did not find any study that compares the neuromuscular effects during unloaded and loaded sled towing training.

Conversely, weighted vertical jumps has been incorporated in muscular power and athletic training program, to our knowledge, only two studies (26, 29) have compared the RFD during unloaded and loaded (30 and 60% 1RM back squat and 0, 20, 40 and 60% 1RM, respectively) static jumps (SJ). They found that the average RFD decreased when the load increased, also Swinton et al. (29) showed significant reduction compared with unloaded jump in peak and average power. The possible reasons for the different acute adaptations found could be explained because there are two main differences between our work and both studies: 1) the exercise used for measuring the RFD (concentric squat jump vs. specific-resisted sprinting); and 2) the magnitude of the load used (20-60% 1RM vs. 10-20% Bm). In this sense, sled-towing exercise would be more specific due to the muscle recruitment and invoke a neural response that was similar to the dynamic performance. In this regard, we could speculate, that a load around 15-20% Bm could be beneficial for the development of the neuromuscular strength in sprinters in early acceleration phase.

Other finding was the increment in the time needed to reach RFD. The results showed a trend to significance between 10 and 20% Bm load. In this respect, caution must be used if we consider the suggestion of Cronin and Sleivert (9) and Young et al. (32) which dictate that

maximal force production and RFD were strongly related to tasks such as sprinting, where force production should be ranged between 80 ms and 160 ms (32). The increase in the time needed to reach RFD could be a function of increments in ground contact time, Lockie et al. (21) described significant increments in ground contact time in resisted sprint (12.6, and 32.2% Bm) with increases in towing resistance. Murray et al. (27) studied the effect of towing a range of relative resistance on sprint performance and stride length and frequency in male rugby and soccer players, however no specific data on sprint kinematics was presented. For this reason, future studies should focus on sprint kinematics alterations when towing a range of loads. On the other hand, the difference in the time to reach RFD may not be significant due to velocity is not compensating for the increase in load, as a result RFD improved.

The ability to generate maximal power output is influenced by the type of muscle action involved and, in particular, the time available to develop force (7). In this sense, time is limited during powerful muscle actions, the muscle must exert as much force as possible in a short time (28). In this respect, RFD may become an important variable in order to know the neuromuscular behaviour in each athlete and set the load individually according to strength improvements, instead of body mass where may be greater differences while load increase (23). Weyand et al. (30) found that the ability to produce a high average vertical ground reaction force (GRF) in a short stance time was an advantage to reach faster top speeds. In fact, we have recently found (not published data) that both braking and propulsive RFD, significantly correlate to sprint performance in 5-m sprinting. Again, more force variables (GRF, mechanical power, etc.) should be attended in order of accurately establishes the load to use in sled-towing exercise. For example, there is a wide selection resistances with athletes can improve their muscular power affecting different components of explosive muscle action (28). To increase explosive power output, athletes should train using the resistance that

maximizes mechanical power output (31). Only one study (20) has measured mechanical power in field running using the semi – tethered method, but only one resistance was used (18% Bm) in 120-m effort, authors did not record the optimal load for eliciting the highest possible power outputs. RFD or changes in force production were not assessed and no comparison with the present study could be developed.

Finally, the results have shown that the increase in loads involves a decrease in sprint performance over 20 and 30-m when athletes ran under different conditions, 10, 15, and 20% Bm. The literature has indicated that resisted sprint slowed the time taken for a given distance through changes in the stride length (27). Murray et al. (27) showed that there was an increase in sprint time with an increase in resistance, but they considered that the impact on sprint performance was not meaningful using resistance from 5 to 30% Bm.

Faccioni (11) and Lockie et al. (21) supported that additional load can increase muscular force output, and improve the power and strength of stride (8), the results showed that increases in resistance involve improvements in force applied on sled, which may lead to stride length to improve. The evaluation of data obtained suggested that higher resistance (15-20% Bm) should be used in resisted sprint training in early acceleration phase. Future studies should introduce force platform measures to analysis ground reaction force variables in sled-towing exercise, these findings might be useful to set the load individually and improve muscle adaptations.

CONCLUSION

The most significant finding from this study was that increments in resistance improve force applied on sled and RFD. Several studies have suggested that sled towing produce a greater force output during the ground contact phase of the stride (8, 11, 21), the results support this suggestion. For the loading schemes used in this study, the results suggest that force production and the ability to achieve this fast increase in force improve when sled towing is used. The present results suggested that the use of overload higher than 10% Bm might be beneficial for develop the specific recruitment of fast-twitch muscle fibers and improve early acceleration performance. According to study of Maulder et al. (23), the use of 20% Bm load makes the athlete's impulse in a more horizontal position, along with greater RFD might improve athlete's performance of the start and early acceleration phase. Therefore, coaches and athletes may consider using higher loads when attempting to enhance force production in acceleration phase.

REFERENCES

1. Alcaraz PE, Elvira JLL, Palao JM. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short – term sled towing training in athletes. *Scand J Sports Sci*, 2012. Jun 5. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x. [Epub ahead of print].
2. Alcaraz PE, Elvira JLL, Palao JM. Características y efectos de los métodos resistidos en el sprint. *Cultura, Ciencia y Deporte*, 2009;4:179-187.
3. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL. Determining the optimal load for sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res*, 2009;23:480-485.

4. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL, Linthorne NP. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res* 2008;22:890-897.
5. Bangsbo J, Norregaard L, Thosoe F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci* 1991;16:110-116.
6. Clark KP, Stearne DJ, Walts CT, Miller AD. The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sleds vs. weighted vests. *J Strength Cond Res* 2010;24:3287-3295.
7. Cormie P, McGuigan MR, Newton R. Developing maximal neuromuscular power: Part 1 – Biological basis of maximal power production. *Sports Med* 2011;41:17-38.
8. Costello F. Resisted and assisted training to improve speed. *Track & Field Quarterly Review* 1981;81:27.
9. Cronin J, Sleivert G. Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Med* 2005;35:213-234.
10. Cronin JB, Hansen KT. Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *Strength Cond J* 2006;28:42-51.
11. Faccioni A. Assisted and resisted methods for speed development: Part 2. *Mod Athl Coach* 1994;32:8-12.
12. Harris NK, Cronin JB, Hopkins WG, Hansen KT. Relationship between sprint times and the strength/power outputs of a machine squat jump. *J Strength Cond Res* 2008;22:691-698.
13. Hay JG. *The Biomechanics of Sports Techniques*. 4th ed. London: Prentice Hall International; 1993.
14. Hunter JP, Marshall RN, McNair PJ. Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sport Exerc* 2004;36:261–271.

15. Kanehisa H, Miyashita M. Specificity of velocity in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 1983;52:104-106.
16. Kaneko M, Fuchimoto T, Toji H, Suei K. Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical power output in human muscles. *Scand J Sports Sci* 1983;5:50-55.
17. Keogh JWL, Newlands C, Blewett S, Payne A, Chun-Er L. A kinematic analysis of a strongman-type event: the heavy sprint-style sled pull. *J Strength Cond Res* 2010;24:3088-3097.
18. Korchemny R. Evaluation of sprinters. *NSCA J* 1985;7:38-42.
19. Letzelter M, Sauerwein G, Burger R. Resistance runs in speed development. *Mod Athl Coach* 1995;33:7-12.
20. Lima MC, Ribeiro LF, Papoti M, Santiago PR, Cunha SA, Martins LE, Gobatto CA. A semi-tethered test for power assessment in running. *Int J Sports Med* 2011;32:529-534.
21. Lockie RG, Murphy AJ, Spinks CD. Effects of resisted sled towing on sprint Kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res* 2003;17:760-767.
22. Majdell R, Alexander MJL. The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J Hum Movement Stud* 1991;21: 19-39.
23. Martínez-Valencia MA, Linthorne NP, Alcaraz PE. Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise. Manuscript submitted for publication, 2012.
24. Maulder PS, Bradshaw EJ, Keogh JWL. Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *J Strength Cond Res* 2008;22:1992–2002.
25. Mero A, Komi P. EMG, Force, and power analysis of sprint-specific strength exercises. *J Appl Biomech* 1994;10:1-13.

26. Moir G, Sanders R, Button C, Glaister M. The influence of familiarization on the reliability of force variables measured during unloaded and loaded vertical jumps. *J Strength Cond Res* 2005;19:140-145.
27. Murray A, Aitchison TC, Ross G, Sutherland K, Watt I, McLean D, Grant S. The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *J Sports Sci* 2005;23:927-935.
28. Newton RU, Kraemer WJ. Developing explosive muscular power: implications for a mixed methods training strategy. *J Strength Cond Res* 1994;16: 20-31.
29. Swinton PA, Stewart AD, Lloyd R, Agouris I, Keogh JWL. Effect of load positioning on the kinematics and kinetics of weighted vertical jumps. *J Strength Cond Res* 2012;26:906-913.
30. Weyand PG, Sternlight DB, Bellizzi MJ, Wright S. Faster top running speeds are achieved with greater ground forces not more rapid leg movements. *J Appl Physiol* 2000;89:1991-1999.
31. Wilson G, Newton R, Murphy A, Humphries B. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc* 1993;23:1279–1286.
32. Young W, McLean B, Ardagna J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 1995;35:13-19.
33. Zafeiridis A, Saraslanidis P, Monou V, Ioakimidis P, Dipla K, Kellis S. The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *J Sports Med Phys Fitness* 2005;45:284-290.
34. Zatsiorsky VM. Science and practice of strength training. Champaign, IL: Human Kinetics; 1995.

ACKNOWLEDGMENTS

Thanks to the athletes who participated in the study and their coaches. This research was supported by a Student Research Grant from the University of Castilla La Mancha (FPI grant, code: PRINCET 02/11/2007). This Research is supported by a grant from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (DEP2011-28727).

EFFECT OF LOWER BODY EXPLOSIVE POWER ON SPRINT TIME IN A SLED-TOWING EXERCISE

EFFECT DE LA PUISSANCE EXPLOSIVE DES MEMBRES INFÉRIEURS SUR LA PERFORMANCE EN SPRINT AVEC TRAÎNEAU RÉSTIF

EFFECTO DE LA POTENCIA EN MIEMBROS INFERIORES SOBRE EL TIEMPO DE SPRINT EN UN EJERCICIO DE ARRASTRE DE TRINEO

Martínez-Valencia MA, Linthorne NP, Alcaraz PE.

(Artículo IV)

TITLE: EFFECT OF LOWER BODY EXPLOSIVE POWER ON SPRINT TIME IN A SLED-TOWING EXERCISE

TITRE: EFFECT DE LA PUISSANCE EXPLOSIVE DES MEMBRES INFÉRIEURS SUR LA PERFORMANCE EN SPRINT AVEC TRAÎNEAU RÉSISTIF

NAME OF THE AUTHORS:

MARIA ASUNCION MARTINEZ-VALENCIA^a, NICK L. LINTHORNE^b, PEDRO E. ALCARAZ^c

INSTITUTIONAL AFFILIATION:

^a*Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Toledo, Spain*

^b*Centre for Sports Medicine and Human Performance, School of Sport and Education, Brunel University, Uxbridge, Middlesex, United Kingdom*

^c*Biomechanics Laboratory, Faculty of Physical Activity and Sport Sciences, Catholic University of San Antonio, Guadalupe, Murcia, Spain*

Corresponding Author: Maria Asunción Martínez-Valencia
Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences
University of Castilla La Mancha, 45071 Toledo, Spain
Phone +34 625391254
Fax +34 969227700
E-mail m.asuncion.martinez@gmail.com

This study was approved by the Human Ethics Committee of the University of Castilla La Mancha and Catholic University of San Antonio.

Acknowledgments

This research was supported by a Student Research Grant from the University of Castilla La Mancha (FPI grant, code PRINCET 02/11/2007) and by a grant from the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness (DEP2011-28727).

EFFECT OF LOWER BODY EXPLOSIVE POWER ON SPRINT TIME IN A SLED-TOWING EXERCISE

EFFECT DE LA PUISSANCE EXPLOSIVE DES MEMBRES INFÉRIEURS SUR LES PERFORMANCES EN SPRINT LES D'UNE COURSE AVEC REMORQUE

SUMMARY

Introduction. — This study investigated the correlation between lower body explosive power and the rate of increase in sprint time with increasing sled weight in a sled-towing exercise.

Synthesis of the facts. — Eight male sprinters performed tests of lower body explosive power. The rate of increase in sprint time showed a strong correlation with countermovement jump height ($r = -0.73$) and with normalized peak power in a countermovement jump ($r = -0.81$) and a squat jump ($r = -0.80$).

Conclusion. — Inter-athlete differences in the rate of increase in sprint time might be due to differences in the athlete's power-to-weight ratio.

RÉSUMÉ

Introduction. — Cette étude examine la relation entre la puissance explosive des membres inférieurs et la pente de l'augmentation du temps de course en fonction du poids du traîneau dans un exercice de sprint avec traîneau résistif.

Synthèse des faits. — Huit coureurs masculins ont effectué des tests de puissance explosive des membres inférieurs. La pente de l'augmentation du temps de course a montré une forte corrélation négative avec la hauteur du saut en contremouvement ($r = -$

0.73) et avec la puissance maximale normalisée lors du saut en contremouvement ($r = -0.81$) et du saut en squat ($r = -0.80$).

Conclusion. — Les différences inter-athlète dans la pente de l'augmentation du temps de sprint avec traîneau résistif pourrait être due aux différences de puissance musculaire des membres inférieurs des athlètes.

Keywords: biomechanics, countermovement jump, sprint.

Mots clés: biomécanique, contre-mouvement saut, sprint.

1. Introduction

Sled-towing exercises are used to develop an athlete's sprinting ability, especially the ability to accelerate rapidly off the mark. When training with a sled, the coach will often time the athlete over a distance of 20 m or 30 m and the increase in the athlete's sprint time relative to the time in unloaded sprinting is an indicator of the intensity of the exercise.

Many coaches use a trial-and-error approach when setting the weight of the sled. However, recent scientific studies have produced a deeper understanding of the relationships between the weight of the sled and the intensity of the exercise. For example, studies have shown that sprint time increases in proportion to the weight of the sled and that an athlete's sprint time increases on running surfaces with a greater coefficient of friction [1]. This work suggests that knowledge of an athlete's rate of increase in sprint time with increasing sled weight (on a given surface) should be useful to the coach when deciding upon the load for the athlete.

Many coaches set the weight of the sled to a percentage of the athlete's body weight so as to account for the fact that larger athletes tend to generate greater anaerobic muscular power. However, Linthorne and Cooper [1] found that even when the sled weight is scaled for body weight in this way, athletes can still show substantial differences (up to 25%) in their rate of increase in sprint time with increasing sled weight. Here, we suggest that inter-athlete differences in the rate of increase in sprint time are due to differences in the athlete's power-to-weight ratio. We suggest that when the sled weight is scaled for the athlete's body weight, athletes who possess a greater than average power-to-weight ratio have a lower relative stress placed on their sprint capabilities and so produce a faster sprint time than would otherwise be expected. This time advantage is expected to be even greater at higher normalized sled loads,

and therefore the athlete's rate of increase in sprint time with increasing sled weight should be lower than for an average athlete. That is, among a group of athletes we expect to see differences in their rate of increase in sprint time with increasing sled weight, with the lowest rates produced by athletes with a high power-to-weight ratio and the highest rates produced by athletes with a low power-to-weight ratio. The aim of the present study was to test whether measures of lower body explosive power were related to the athlete's rate of increase in sprint time in a sled-towing exercise.

2. Methods

Eight male sprinters with experience in sled towing volunteered to participate in the study. The mean (\pm SD) age, stature, and body mass of the participants were 18.6 ± 3.7 years, 1.79 ± 0.07 m, and 73.4 ± 9.8 kg, respectively. This study was approved by the Human Ethics Committee of the Catholic University of San Antonio and Castilla La Mancha University, the participants were informed of the procedures and inherent risks prior to their involvement, and written consent to participate was obtained.

The measures of lower body explosive power that were used in the study were the athlete's unloaded sprint time, jump height in a vertical jump, and normalized peak power in a vertical jump [2]. Three types of vertical jump were tested: a countermovement jump; a squat jump from an initial knee angle of 90° ; and a squat jump from an initial knee angle of 120° . All jumps were performed with the participant's hands placed firmly on his hips (i.e., arms akimbo). The vertical force profiles of the jump trials were measured using a force platform that was sampled at 500 Hz. The participant's vertical velocity, v , at any instant during the ground contact phase of the jump was calculated from the force-time data using the impulse-momentum method, and the flight height of the jump (h) was calculated from the participant's

vertical velocity at the instant of take-off (v_{to}) using $h = v_{to}^2/2g$, where g (9.81 m/s^2) is the acceleration due to gravity. The external mechanical power, P , generated by the participant at any instant was calculated using $P = Fv$, where F is the vertical ground reaction force at the corresponding instant. The participant's peak power was defined as the greatest instantaneous power that was generated during the ground contact phase of the jump, and this power was normalized by dividing by the participant's body weight.

The sprint trials and sled-towing trials were 30-m sprints at maximum effort from a crouched start, and were conducted on a Mondo Sportflex Impronta athletics track. The participant's 20-m and 30-m sprint times were taken as the elapsed time obtained from sets of timing gates. For the sled-towing trials a weighted sled (Power Sled; Power Systems, Knoxville, TN, USA) was attached to the participant by a 3.6 m cord and waist harness. The participants performed one unloaded sprint and three sled-towing sprints with the sled loaded to 8%, 13%, and 18% of the participant's body weight. The coefficient of friction of the sled when sliding on the running surface was 0.32.

The strength of the linear dependence between the variables was calculated using the Pearson product-moment correlation coefficient (r). An r value that is close to zero is usually designated as a 'negligible' correlation, and the threshold r values for 'weak', 'moderate', 'strong', and 'very strong' correlations are ± 0.1 , 0.3, 0.5, and 0.7, respectively. The 90% confidence interval of the correlation coefficient was calculated using the Fisher z transformation. However, with a sample size of eight the 90% confidence interval of a correlation coefficient is about ± 0.6 . That is, in the present study we were not able to reliably distinguish between the categories of the correlation coefficient. Instead, we designated the correlation coefficient as 'unclear' if the 90% confidence limits of the correlation coefficient spanned both weak negative and weak

positive values, and otherwise the magnitude of the correlation coefficient was taken as the observed value [3]. Therefore, in this study a correlation coefficient was only considered to be 'clear' if it was less than -0.56 or greater than $+0.56$.

3. Results and Discussion

As expected, the participant's 20-m and 30-m sprint times when towing a weighted sled increased linearly with increasing sled weight, and there were substantial differences between the participants in the rate of increase in sprint time with increasing sled weight (Figure 1). For the 20-m times the rate of increase in sprint time ranged from 1.5 to 3.0 s per body weight, and for the 30-m times the rate of increase in sprint time ranged from 1.9 to 4.1 s per body weight.

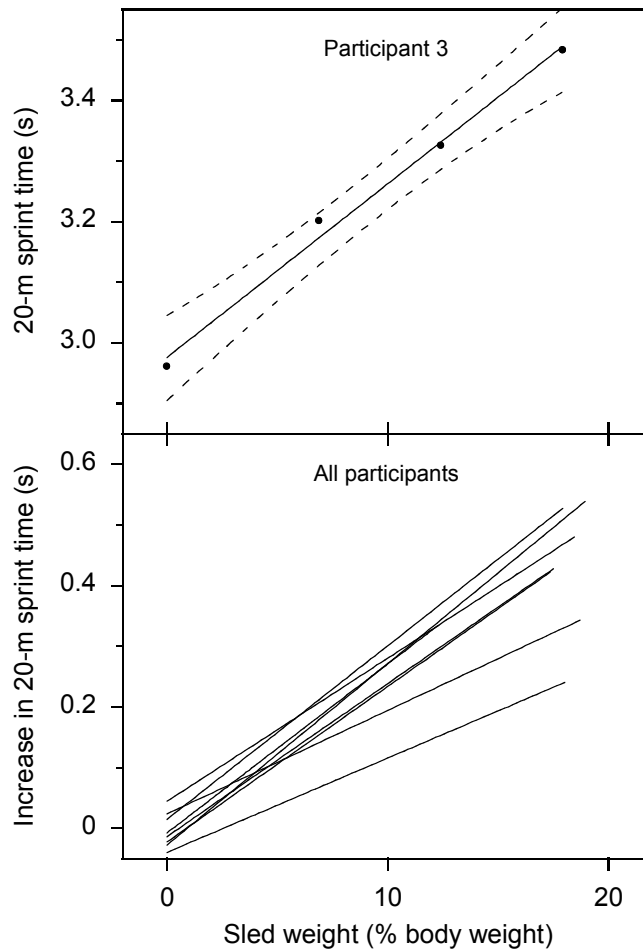


Figure 1. Plot (a) shows the linear increase in 20-m sprint time with increasing sled weight for a male sprinter (Participant 3). The solid line is the line of best fit and the dashed lines indicate the 95% confidence limits. The gradient of the line of best fit gives the rate of increase in sprint time for this athlete. Plot (b) shows that there were substantial differences in the rate of increase in 20-m sprint time with increasing sled weight within this group of male sprinters. Only the line of best fit for each of the eight athletes is shown; data points have been omitted for clarity.

The correlations between the rate of increase in sprint time and the measures of lower body explosive power were similar for sled-towing over 20 m and 30 m (Table 1). As predicted, the rate of increase in sprint time showed a clear strong negative correlation

with the flight height and normalized peak power in a countermovement jump and in a squat jump with an initial knee angle of 90°. However, the 120° squat jump showed an unclear but possibly weak or moderate correlation. Likewise, the rate of increase in sprint time showed an unclear but possibly moderate positive correlation with the participant's unloaded sprint time (over 20 m and 30 m).

Table 1. Correlation between lower body explosive power and the rate of increase in sprint time with sled weight when towing a weighted sled ($n = 8$)

Measure of lower body explosive power	Correlation with rate of increase in sled-towing sprint time	
	20 m	30 m
20-m sprint time	0.40	0.49
30-m sprint time	0.31	0.27
Flight height in a countermovement jump	-0.73	-0.65
Flight height in a squat jump from 90°	-0.65	-0.40
Flight height in a squat jump from 120°	0.04	0.13
Peak power in a countermovement jump	-0.81	-0.70
Peak power in a squat jump from 90°	-0.80	-0.66
Peak power in a squat jump from 120°	-0.35	-0.20

90° and 120° = initial knee angle

Clear correlations are in boldface

We also observed a strong positive correlation between absolute peak power in a vertical jump and body weight; no clear correlation between vertical jump height and body weight; a strong negative correlation between sprint time and body weight; a negative correlation between sprint time and jump height; a negative correlation between

sprint time and normalized peak power in a vertical jump; and a strong negative correlation between unloaded sprint time and flight height in a countermovement jump. These findings are similar to those from previous studies of sprinting and jumping [4], and suggest that the result from the present study regarding the strong correlation between the rate of increase in sprint time in a sled-towing exercise and measures of lower body explosive power would be observed in other groups of trained male athletes.

4. Conclusion

The aim of this study was to gain a deeper understanding of the relationships between the athlete's sprint time in a sled-towing exercise, and the weight of the sled and the physical qualities of the athlete. We found that even when the weight of the sled is normalized for the athlete's body weight, athletes can have substantial inter-athlete differences in the rate of increase in sprint time with increasing sled weight. We also found a strong correlation between the athletes' rate of increase in sprint time and measures of their lower body explosive power. This result indicates that inter-athlete differences in the rate of increase in sprint time in a sled-towing exercise might be due (at least partly) to differences in the athlete's power-to-weight ratio. Therefore, when setting the intensity of the exercise for an athlete, the weight of the sled should be scaled for the athlete's power-to-weight ratio, rather than for the athlete's body weight.

Disclosure of interest

The authors declare that they have no conflicts of interest concerning this article.

References

- [1] Linthorne NP, Cooper JE. Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sports Biomech* 2012 E-print ahead of print publication.
- [2] Markovic G, Jaric S. Movement performance and body size: The relationship for different groups of tests. *Eur J Appl Physiol* 2004; 92:139–49
- [3] Batterham AM, Hopkins WG. Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform* 2006; 1:50–7.
- [4] Young W, McLean B, Ardagna J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness* 1995; 35:13–9.

DISCUSION

El objetivo general de esta Tesis Doctoral es analizar los efectos agudos en los parámetros técnicos, de tiempo, velocidad de sprint, y RFD, así como su relación con la producción de fuerza y potencia en semi-squat y pruebas de salto vertical, con el fin de aproximarnos al conocimiento de la carga adecuada para el entrenamiento mediante el arrastre de trineo.

En el presente apartado se ha tratado de aunar los resultados de los cuatro artículos que componen la memoria de Tesis buscando la relación entre ellos y evitando reiterar discusiones anteriores de cada uno de los estudios, de esta manera se destacan los aspectos más relevantes de forma sintetizada.

Se ha demostrado científicamente que el trabajo con arrastre de trineo incide sobre las variables cinemáticas de carrera y disminuye la velocidad o tiempo de sprint tanto en la fase de aceleración (Cronin et al., 2008; Lockie et al., 2003; Murray et al., 2005) como de velocidad máxima (Alcaraz et al., 2008). Además, el incremento en el tiempo de sprint es proporcional al peso del trineo (Linthorne & Cooper, 2012; Maulder et al., 2008; Murray et al., 2005) y no se observa en la relación peso del trineo – tiempo de sprint ningún punto o momento que pueda indicar que dicha carga produce un efecto por encima del que se podría prever de la relación lineal (Murray et al., 2005). Los resultados del primer estudio mostraron un aumento significativo del tiempo de sprint con cargas superiores al 5%, este aumento significativo con las cargas más ligeras se puede deber a la falta de experiencia de los deportistas en el trabajo resistido con trineo. A pesar de los distintos estudios que han analizado el efecto del arrastre de trineo, las cargas utilizadas son superiores a las del artículo II de la presente memoria de Tesis, de esta forma la literatura muestra un aumento

significativo del tiempo de sprint con cargas que van desde el 10% PC (Alcaraz et al., 2008; Cronin et al., 2008; Lockie et al., 2003; Maulder et al., 2008). Un único estudio se ha encontrado (Alcaraz et al., 2009) que utilice cargas inferiores (6% PC), los resultados revelan una disminución tanto de la velocidad máxima como el tiempo en 30 m sprint, aunque los autores no presentan si existen diferencias con el sprint libre de carga.

Acercas de los efectos agudos sobre la técnica de carrera, en la literatura se ha observado una disminución tanto de la longitud y frecuencia de carrera con el uso del trineo (Alcaraz et al., 2009; Cronin et al., 2008; Lockie et al., 2003; Murray et al., 2005), aunque es la longitud de zancada la más afectada con el incremento de la carga, resultados que concuerdan con los mostrados en la presente memoria de Tesis.

En relación al análisis de la literatura, se establece que el entrenamiento resistido permite al deportista mejorar la fuerza específica en su gesto deportivo, en este caso en el sprint (Alcaraz et al., 2008; Delecluse, 1997; Zafeiridis et al., 2005). Sin embargo, los estudios encontrados en el primer artículo en relación al trabajo con sobrecarga han omitido la búsqueda de la carga óptima de entrenamiento en relación a la potencia máxima individual del atleta. Por otro lado, las ecuaciones encontradas como modelos para los entrenadores (Alcaraz et al., 2009; Lockie et al., 2003) establecen relaciones generales entre la pérdida de velocidad y la carga en porcentaje del peso corporal, no atendiendo a las diferencias individuales de los atletas. Resultados posteriores del artículo IV muestran que el ratio de incremento en el tiempo de sprint difiere entre sujetos, por lo que se considera que un criterio adecuado para aplicar la carga en el entrenamiento resistido con trineo, sería tener en cuenta las características individuales de cada deportista.

Los resultados de la presente memoria de Tesis ofrecen una aproximación a los criterios que se deben tener en cuenta a la hora de establecer la carga en el entrenamiento con trineo. Los resultados de nuestro segundo estudio muestran que no existe relación entre la fuerza máxima y el sprint con arrastre de trineo (tiempo y variables cinemáticas), y de igual manera, el nivel de fuerza máxima de los deportistas no interviene en los efectos que el aumento de la carga produce sobre el tiempo de sprint y modificaciones técnicas. Sin embargo, se observa una correlación positiva con la potencia y altura del salto en CMJ y SJ. El estudio previo de Letzelter et al. (1995) mostró que no existía relación entre el trabajo resistido con trineo y la fuerza máxima isométrica en velocistas mujeres. No existen más estudios que analicen la relación del tiempo de sprint con arrastre de trineo y manifestaciones de fuerza y potencia.

Las diferencias encontradas en el ratio de incremento del tiempo de sprint muestran la necesidad de tener en cuenta las características individuales de cada deportista, de lo contrario, estableciendo la carga en porcentaje sobre el peso corporal, pese a trabajar con un mismo porcentaje los atletas pueden estar llevando a cabo la tarea en porcentajes de velocidad diferentes, y por lo tanto el objetivo de entrenamiento podría ser distinto para un mismo diseño de tarea de entrenamiento. Estos resultados contrastan con las investigaciones de Lockie et al. (2003) y Alcaraz et al. (2009) donde se ofrece a los entrenadores una herramienta para el cálculo de la carga de entrenamiento con arrastre de trineo. Esta herramienta nos permitiría calcular individualmente la carga para cada uno de nuestras atletas pero solo se tendría en cuenta el peso corporal del mismo. En este sentido, los resultados de la presente memoria de Tesis muestran que un criterio adecuado podría ser la potencia individual en lugar del peso corporal.

Finalmente, la literatura ha recomendado la utilización de cargas inferiores al 13% PC, y las investigaciones de entrenamiento resistido con trineo han utilizado cargas de entre el 7% y 13% PC aproximadamente (Alcaraz et al., 2012; Clark et al., 2010; Harrison & Bourke, 2009; Lockie et al., 2012; Spinks et al., 2007; West et al., 2012). Sin embargo, en el tercer estudio de la presente memoria de Tesis se muestra un incremento de la RFD con cargas del 20%, lo que podría sugerir la utilización de cargas más elevadas para la optimización de la curva fuerza-tiempo en la fase de aceleración en sujetos entrenados. La utilización de cargas más elevadas podría estar sujeta al momento de la temporada, donde se puede recomendar el uso de cargas más elevadas al inicio del programa de entrenamiento con sobrecarga para posteriormente reducir la carga de trabajo.

REFERENCIAS

1. Alcaraz PE, Elvira JLL, Palao JM. Kinematic, strength, and stiffness adaptations after a short – term sled towing training in athletes. *Scand J Sports Sci*, 2012. Jun 5. doi: 10.1111/j.1600-0838.2012.01488.x. [Epub ahead of print].
2. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL. Determining the optimal load for sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res*, 2009;23:480-485.
3. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL, Linthorne NP. Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *J Strength Cond Res* 2008;22:890-897.
4. Clark, K. P., Stearne, D. J., Walts, C. T. & Miller, A. D. (2010). The longitudinal effects of resisted training using weighted sleds vs. weighted vests. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(10):3287-3295.
5. Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7(2), 160-172.
6. Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance. *Sports Medicine*, 24, 147-156.
7. Harrison, A. J, & Bourke, G. (2009). The effect of resisted sprint training on speed and strength performance in male rugby players. *J Strength Cond Res*, 23(1), 275-283.
8. Letzelter, M., Sauerwein, G., & Burger, R. (1995). Resistance runs in speed development. *Modern Athlete & Coach*, 33, 7-12.
9. Linthorne, N. & Cooper, J. E. (2012). Effect of the coefficient of friction of a running surface on sprint time in a sled-towing exercise. *Sport Biomechanics*. DOI:10.1080/14763141.2012.726638.
10. Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J. & Janse de Jonge, X. A. K. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics

- and muscle strength and power in field sport athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(6), 1539-1550.
11. Lockie, R. G., Murphy, A. & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 17(4), 760-767.
 12. Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. W. L. (2008). Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 1992-2002.
 13. Murray, A., Aitchison, T. C., Ross, G., Sutherland, K., Watt, I., McLean, D., et al. (2005). The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *Journal of Sports Science*, 23(9), 927-935.
 14. 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 & Conditioning Research*, 21(1), 77-85.
 15. West, D. J., Cunningham, D. J., Bracken, R. M., Bevan, H. R., Crewther, B. T., Cook, C. J. et al. (2012). Effects of resisted sprint training on acceleration in profesional rugby unión players. *Journal of Strength & Conditioning Research*. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3182606cff.
 16. Zafeiridis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., Ioakimidis, P., Dipla, K. & Kellis, S. (2005). The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 45(3), 284-290.

CONCLUSIONES

- Las recomendaciones establecidas en la literatura en relación al trabajo de velocidad con arrastre de trineo se centran principalmente en la utilización de cargas relativas al peso corporal y que no supongan una disminución de la velocidad superior al 10% de la velocidad máxima.
- La disminución sobre la velocidad y tiempo de sprint en el trabajo resistido con trineo se debe principalmente a una disminución de la longitud de zancada, y a su vez esta disminución es proporcional a la carga aplicada sobre el trineo, no existiendo relación entre la fuerza dinámica máxima (1 RM) y el tiempo de sprint con trineo.
- El aumento de la carga en el trineo supone un aumento en la fuerza máxima y de la RFD en el sprint resistido, de esta manera el trabajo con cargas del 20% del peso corporal en trineo en la fase de aceleración, puede incrementar la producción de fuerza y mejorar la RFD en sprint.
- La determinación de la carga en el entrenamiento resistido en función del peso corporal no limita las diferencias individuales en el efecto que la carga supone sobre el tiempo de sprint, de esta manera un criterio más aproximado podría ser mediante la utilización de la potencia de miembros inferiores, como en pruebas de salto vertical.

CONCLUSIÓN GENERAL

Los resultados de la presente memoria de Tesis ponen de manifiesto la necesidad de individualizar la carga de entrenamiento en el trabajo con arrastre de trineo en sprint en base a un criterio de potencia de miembros inferiores, observando que la resistencia establecida en función del peso corporal no impide que existan diferencias en el comportamiento del tiempo de sprint con el aumento de la carga, por otro lado se puede recomendar la utilización de cargas superiores al 13% PC para la mejora de la fase de aceleración en deportistas entrenados.

CONCLUSIONS

- The literature had recommended the use of load relative to body mass in resisted sprint training programs, also the load should not reduce the athlete's velocity by more than 10% of maximum sprint velocity.
- The reduction in sprint time and sprint velocity in sled-towing exercise is due to decreases in stride length mainly, and, in turn, the decrement is a direct function of the sled load, while there is no relationship between maximal dynamic strength (1 RM) and resisted sprint performance.
- The increase in sled load implies a rise in maximal strength output and RFD in resisted sprint, this means that it is possible to use load up to 20% BM in acceleration phase training, it may improve strength output and RFD in sprint.
- Setting up the sled load normalized to body mass did not avoid the inter-athletes differences in rate of increase in sprint time, in this sense, the use of the athlete's power-to-weight ratio to set the load in sled-towing exercise may be more suitable, such as, power output in vertical jumps.

GENERAL CONCLUSION

The present results have shown the need to set up the sled load in sled-towing exercise according to individual characteristics, taking into account power output in lower limbs (power-to-weight ratio), this may be due to the presence of inter-athlete differences in rate of increases in sprint time. The use of body weight did not avoid the interathletes differences in

rate of increase in sprint time. Furthermore, load over 13% Bm may be used to improve acceleration phase in trained athletes.

LIMITACIONES

Pese a haber sido planificado, diseñado y puesto en marcha con el mayor rigor posible, la presente memoria de Tesis Doctoral presenta algunas limitaciones que conviene resaltar:

- a) En relación al segundo artículo de la memoria de Tesis, los sujetos no poseían experiencia previa en el entrenamiento resistido con trineo, como criterio de inclusión solo se tuvo en cuenta que tuvieran al menos tres años de experiencia en el entrenamiento de velocidad.

- b) Por cuestiones logísticas y metodológicas no se pudo concretar la carga que representaba el RFD máximo en el sprint resistido, obteniéndose únicamente un incremento significativo hasta el 20% PC en el tercer estudio.

- c) Finalmente en el último estudio, se limitó el análisis a 8 sujetos. En futuras investigaciones será necesario ampliar las resistencias utilizadas en el trineo y así favorecer el cálculo del ratio de incremento en sprint resistido (rate of increase in sled-towing exercise), ampliando a su vez la muestra a utilizar.

FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

Para futuros estudios será necesario tener en cuenta las limitaciones anteriormente presentadas, e incluir las siguientes consideraciones: a) un mayor número de participantes, con amplia experiencia en el entrenamiento resistido con trineo; b) evaluación a nivel neuromuscular con el uso de herramientas de diagnóstico más potentes (Electromiografía, Ecografía), c) determinar los efectos del uso del trineo en velocidad resistida sobre las fuerzas de reacción del suelo (plataforma de fuerzas); d) comprobar las recomendaciones establecidas en relación a la carga adecuada para el entrenamiento resistido en trineo mediante la aplicación de un programa de entrenamiento en sujetos experimentados en este tipo de trabajo y en el entrenamiento de velocidad.

AGRADECIMIENTOS

Me gustaría utilizar estas últimas palabras de esta memoria de Tesis para agradecer el apoyo incondicional de mis padres y hermana, la paciencia y ayuda que me han prestado en todo momento durante este largo proceso.

A Alejandro, que tanto me ha ayudado en todas y cada una de las fases de este proyecto, por su inagotable paciencia y sacrificio, sin él todo esto había sido más difícil. Todo agradecimiento es poco y no hay palabras para expresarlo.

Agradecer a mis directores de tesis Dr. Fernando Navarro Valdivielso y Dr. José María González Ravé el esfuerzo hecho a lo largo de este proceso de aprendizaje tanto científico como personal. Gracias por confiar en mí en un primer momento dándome la oportunidad de formar parte del “Laboratorio de Entrenamiento Deportivo”.

A la Consejería de Educación Cultura y Deporte de la JCCM por la beca FPI que me ha permitido dedicarme a la investigación durante los cuatro años de estancia en la UCLM como Becaria Predoctoral.

Al Dr. Pedro Alcaraz, por recibirme en una primera estancia en la Universidad Católica San Antonio de Murcia aportando tantos conocimientos, y respondiendo a mis consultas durante todo este tiempo.

Al Dr. Nicholas P. Linthorne por acogerme en la estancia realizada en la Universidad Brunel, aportando un nivel más a este proyecto científico, por mostrarme la calidad de su trabajo y permitirme conocer sus últimas aportaciones.

A todos mis inagotables compañeros de fatigas del “Laboratorio de Entrenamiento Deportivo” y de la “Unidad de Valoración y Diagnóstico del Rendimiento Deportivo”, en especial a Víctor, Germán, Jaime (MEX), Vicente, Isabel, Silvia, Alfredo Jacobo, Fernando, Domingo y Paula, por su apoyo tanto en la recogida de datos como en el apartado logístico. Gracias por las interminables charlas que me han ayudado a llevar mejor este largo proceso.

A Salva y Aaron que hicieron más sencilla y amena mi estancia en la UCAM y han seguido apoyándome desde entonces. A Juan por compartir conmigo sus grandes incógnitas en el mundo del entrenamiento resistido. A Teresa por ser mi apoyo en Londres y estar dispuesta a ayudarme en cualquier momento durante mi estancia en la Universidad Brunel. A Iván por prestarse como cobaya en mis primeros pasos, así como a “mis atletas” Esther, Virginia y Ana. A Vito, por su apoyo en cada cuestión informática, sin él la mayoría de las mediciones habrían sido mucho más complicadas.

A la Universidad de Castilla La Mancha, Facultad de Ciencias del Deporte y al Departamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte por permitirme llevar a cabo todas las investigaciones que han sido necesarias para la finalización de esta tesis.

A todos los deportistas que han participado en los estudios llevados a cabo para la obtención de esta tesis y a sus entrenadores que han dedicado parte de su tiempo y colaboración.

Gracias a todos los que han aportado su granito de arena, porque la suma de todo es lo que ha hecho que esto sea posible.

Anexo 1. Reprint Artículo II. Martínez-Valencia, M. A., González-Ravé, J. M., Juárez, D., Alcaraz, P.E., Navarro-Valdivielso, F. (2011) Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes. European Journal of Sport Science. DOI:10.1080/17461391.2011.638935. (*Interrelación entre diferentes cargas en sprint resistido, 1 RM en semi-sentadilla y variables cinemáticas en atletas entrenados*).

Anexo 2. Carta de aceptación Artículo IV. Martínez-Valencia MA, Linthorne NP, Alcaraz PE. Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise. (Efecto de la potencia en miembros inferiores sobre el tiempo de sprint en un ejercicio de arrastre de trineo).

Anexo 3. Modelo hoja de Consentimiento Informado entregada a los participantes de cada uno de los estudios que conforman la presente Tesis Doctoral.

Anexo 4. Curriculum Vitae.

ANEXO 1

Reprint Artículo II. Martínez-Valencia, M. A., González-Ravé, J. M., Juárez, D., Alcaraz, P.E., Navarro-Valdivielso, F. Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes. *European Journal of Sport Science*, 2011. DOI:10.1080/17461391.2011.638935. (*Interrelación entre diferentes cargas en sprint resistido, 1 RM en semi-sentadilla y variables cinemáticas en atletas entrenados*).

This article was downloaded by: [maria asuncion martinez]

On: 19 December 2011, At: 08:03

Publisher: Taylor & Francis

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



European Journal of Sport Science

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/tejs20>

Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes

María Asunción Martínez-Valencia^a, José M. González-Ravé^a, Daniel Juárez Santos-García^a, Pedro E. Alcaraz Ramón^b & Fernando Navarro-Valdivielso^a

^a Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Toledo, Spain

^b Biomechanics Laboratory, Faculty of Health and Sport Sciences, San Antonio Catholic University of Murcia, Guadalupe, Murcia, Spain

Available online: 12 Dec 2011

To cite this article: María Asunción Martínez-Valencia, José M. González-Ravé, Daniel Juárez Santos-García, Pedro E. Alcaraz Ramón & Fernando Navarro-Valdivielso (2011): Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes, *European Journal of Sport Science*, DOI:10.1080/17461391.2011.638935

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/17461391.2011.638935>



PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae, and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand, or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

ORIGINAL ARTICLE

Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1 RM and kinematic variables in trained athletes

MARÍA ASUNCIÓN MARTÍNEZ-VALENCIA¹, JOSÉ M. GONZÁLEZ-RAVÉ¹,
DANIEL JUÁREZ SANTOS-GARCÍA¹, PEDRO E. ALCARAZ RAMÓN², &
FERNANDO NAVARRO-VALDIVIELSO¹

¹Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Toledo, Spain, and ²Biomechanics Laboratory, Faculty of Health and Sport Sciences, San Antonio Catholic University of Murcia, Guadalupe, Murcia, Spain

Abstract

Resisted sprint running is a common training method for improving sprint-specific strength. It is well-known that an athlete's time to complete a sled-towing sprint increases linearly with increasing sled load. However, to our knowledge, the relationship between the maximum load in sled-towing sprint and the sprint time is unknown. The main purpose of this research was to analyze the relationship between the maximum load in sled-towing sprint, half-squat maximal dynamic strength and the velocity in the acceleration phase in 20-m sprint. A second aim was to compare sprint performance when athletes ran under different conditions: un-resisted and towing sleds. Twenty-one participants (17.86 ± 2.27 years; 1.77 ± 0.06 m and 69.24 ± 7.20 kg) completed a one repetition maximum test (1 RM) from a half-squat position (159.68 ± 22.61 kg) and a series of sled-towing sprints with loads of 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30% body mass (Bm) and the maximum resisted sprint load. No significant correlation ($P < 0.05$) was found between half-squat 1 RM and the sprint time in different loaded conditions. Conversely, significant correlations ($P < 0.05$) were found between maximum load in resisted sprint and sprint time (20-m sprint time, $r = -0.71$; 5% Bm, $r = -0.73$; 10% Bm, $r = -0.53$; 15% Bm, $r = -0.55$; 20% Bm, $r = -0.65$; 25% Bm, $r = -0.44$; 30% Bm, $r = -0.63$; MaxLoad, $r = 0.93$). The sprinting velocity significantly decreased by 4–22% with all load increases. Stride length (SL) also decreased (17%) significantly across all resisted conditions. In addition, there were significant differences in stride frequency (SF) with loads over 15% Bm. It could be concluded that the knowledge of the individual maximal load in resisted sprint and the effects on the sprinting kinematic with different loads, could be interesting to determinate the optimal load to improve the acceleration phase at sprint running.

Keywords: Sled towing, sprinting kinematics, velocity

Introduction

The ability to achieve a high maximum sprinting velocity is an important determinant of success in sports such as athletics, soccer and other team sports (Alcaraz, Palao, Elvira, & Linthorne, 2008). Sprint running performance is the product of stride frequency (SF) and stride length (SL) with numerous components influencing this apparently simple formula (Ross, Leveritt, & Riek, 2001). Performance in sprint exercise has traditionally been thought to be largely dependent on genetic factors; however, other

mechanisms of adaptation are required and this likely includes neural improvements (Ross et al., 2001).

Resisted sprint towing has become a specific strength training method for sprinters (Alcaraz et al., 2008; Delecluse, 1997; Zafeiridis et al., 2005). This training mode for athletes is believed to increase strength, SL (Alcaraz et al., 2008) and SF (Alcaraz et al., 2008; Clark, Stearne, Walts, & Miller, 2010; Zafeiridis et al., 2005).

In field sports, speed plays a pivotal role. Whether it was to escape a tackle or to get into position for a

Correspondence: José M. González-Ravé, Sport Training Laboratory, Faculty of Sport Sciences, University of Castilla La Mancha, Avenida Carlos III s/n Toledo, Spain. E-mail: JoseMaria.Gonzalez@uclm.es

pass, speed and acceleration are vital for success. So, resisted sprint towing is also used in training for field sports.

Different devices are used to apply the resistance, being the most popular sled towing. Several studies have examined the effects of sled towing on sprint performance (Alcaraz et al., 2008; Alcaraz, Palao & Elvira, 2009; Cronin, Hansen, Kawamori, & McNair, 2008; Letzelter, Sauerwein, & Burger, 1995; Lockie, Murphy, & Spinks, 2003; Maulder, Bradshaw, & Keogh, 2008; Murray et al., 2005). Some studies have attempted to find the appropriate load for resisted sprinting (Alcaraz et al., 2009; Lockie et al., 2003; Spinks, Murphy, Spinks, & Lockie, 2007), but the resistance was calculated as a percent of Bm. Different studies suggest that to maintain load specificity in sprints, horizontal velocity should not fall below 90% of the athlete's maximum velocity (Alcaraz et al., 2008; Letzelter et al., 1995).

In this sense, Lockie et al. (2003) explored the effects of sled towing on acceleration sprint kinematics in field-sport athletes, and presented an equation that relates the reduction in running velocity to the weight of the sled.

Conversely individual force ability has not been considered in the mentioned studies. Strength usually increases with body mass, thus a movement follows Newton's second law of motion $F=ma$, where 'm' is mass and 'a' is acceleration. The force is proportional to the mass (inertia). As the body mass is typically selected as a parameter of a motor task, the force determines the acceleration. Murray et al. (2005) suggested assigning loads as a proportion of strength, and Letzelter et al. (1995) used maximal static strength of the leg extensors at 90° angle in knee and hip joints to ascertain whether the tempo reduction and changes in stride variables were dependent on maximal strength, finding a lack of correlations between maximal strength and sprint performance. Murray et al. (2005) suggested that the use of one-repetition maximum squat may be more appropriate and practical than an isometric test, as questions related to the selected muscle groups and speed of test would need to be resolved. The literature has focused on the use of absolute and relative resistance and the effects on sprinting kinematics, but an appropriate criterion to apply loads correctly is needed. Alcaraz et al. (2009) suggested load control is essential to ensure the specificity of resisted sprint training method.

Previous research on the maximum velocity phase supports the contention that when towing a sled with a resistance that reduces the athlete's velocity by more than 10% of unloaded sprinting maximal velocity, there are substantial changes to the athlete's sprinting mechanics (Alcaraz et al., 2008). A possi-

ble reason for the variation in performance is that some of the heavier players may not be as strong as some of the lighter players and vice versa (Murray et al., 2005), and the use of a leg strength measurement and the assigning of the loads as a proportion of strength on the test may have been better (Murray et al., 2005).

Keeping this in mind, the purpose of this research was to compare sprint performance over 20 m when athletes ran under different conditions: un-resisted and towing sleds with loads between 5 and 30% Bm. A secondary aim was to ascertain the relationship between maximal strength and resisted sprinting, to determine whether resisted sprinting loads should be applied in relation to individual's maximal dynamic strength (1 RM).

METHODS

To analyze the kinematics of acceleration of field-sport athletes and runners while towing a sled of varying resistances (5–30% Bm), an experimental design was used. The variations of athlete's sprint time, SL and SF were measured in relation to their un-resisted sprint time. The loads from 5 to 30% Bm were used for the analyses with maximum resisted sprint load. This load was determined as the load that made athletes unable to increase their velocity in the last 5m-sprint. Furthermore, half-squat 1 RM was assessed to ascertain the relationship between resisted sprint velocity and the level of maximal strength in the lower limbs.

Each of the two test sessions was performed over a 5-day period, following the same order of assessments: Day 1: half-squat 1 RM and Day 2: 20 m sprint acceleration in un-resisted and resisted conditions.

Subjects

Twenty-one male volunteers were recruited for the study (17.86 ± 2.27 years; 1.77 ± 0.06 m; 69.24 ± 7.20 and 1 RM 159.68 ± 22.61 kg). Seven participants were active competitive athletes who specialised in sprint run (20.21 ± 1.80 years; 1.82 ± 0.03 m; 71.94 ± 8.38 kg and 1 RM: 176.43 ± 22.42 kg), and 14 were soccer players of national competitive level (16.53 ± 0.64 years; 1.75 ± 0.05 m; 67.97 ± 6.52 kg and 1 RM: 151.87 ± 18.58 kg). All had 3 years previous experience in their respective sports. None of the subjects had previously performed any sled towing training. Each participant gave his written informed consent to participate in this study before testing. Ethical approval was obtained for all testing procedures from the Castilla La Mancha University ethics committee.

Procedures

The study was performed in three separated days over a 5-day period, with 48 h-rest between them. Subjects performed a familiarisation session in the first day, half squat 1 RM in second day and resisted sprint test in the third day.

Anthropometric information was collected in the familiarisation session prior to strength testing. Height and body mass (Seca 720, Vogel & Halke, Germany) were recorded. Then the subjects were familiarised with the maximal muscular strength assessment of the lower extremity muscles (half-squat 1 RM test) during several sub maximal and maximal actions. The familiarisation was performed in the same conditions that test would be carried out in second day.

During the first testing session (second day) each subject was tested for his half-squat 1 RM. Subjects completed a 5-minute warm-up on a stationary bike at a standardised resistance (50 W) and a cadence of 70 rpm (McBride, Nimphius, & Erickson, 2005). Following this, the subjects completed one set of 5–10 repetitions of the squat with light load (40–60% of predicted 1 RM) and one set of 2–3 repetitions with moderate load (60–80% of predicted 1 RM). Each set was separated by a two-minute rest period (Thomas et al., 2007).

A detailed description of the half-squat 1 RM can be found in Thomas et al. (2007). The half-squat was performed in a Smith machine (Multipower, Salter, Barcelona, Spain), with linear bearings on two vertical bars allowing only vertical movements. The subject had to descend to the point where the tops of the thighs were parallel to the floor and perform a concentric leg extension (as fast as possible), to reach 180° of leg extension against the resistance determined by the weight plates added to both ends of the bar. The shoulders were in contact with the bar. Thereafter, four to five separate single attempts were performed. The last acceptable single repetition with the highest possible load was determined as one-repetition maximum. The 1 RM half-

squat in relation to body mass was calculated, dividing the maximum load between body mass. Each attempt was separated by a three-minute rest period.

During the second testing occasion (third day) the sprint time of each subject was assessed for both un-resisted and resisted conditions. The sprint time was evaluated with a 20 m sprint effort using a system of photocells (Newtest Powertimer 300, Newtest Oy, Finland) placed at 2 and 22 m to record the participants' sprint times over 20 m. Other photocells were used to measure sprint times between 2 and 7, 12, 17 and 22 m to record the participants' sprint times over 5 m (Figure 1). A high-speed camera (Casio High Speed Exilim EX-F1, Casio, Tokyo, Japan) operating at 300 fps was used to analyze the SL and SF. The camera was set at a height of 0.85 m. The placement of the camera was 5 m from the end of the recorded section of the run as shown in Figure 1. The participants were recorded for the entire run, although their strides were only counted from the moment they crossed the line at 2 m to when they crossed the line at 22 m. If the feet did not land exactly on either line, then half-strides were counted (Murray et al., 2005).

The SL and SF were determined as follows: $SL = \text{distance}/\text{stride number}$; $SF = \text{stride number}/\text{time}$.

The participants completed a 10 minute standardised running warm-up prior to the sprints consisting of 4 minutes of running with a heart rate of 140 bpm and two sub maximal sprints unloaded and two sub maximal sprints with a loaded sled (5% Bm), immediately prior to the test. The rest between sprints was 2 minutes. The participants completed two sprint efforts at their maximum speed and the best sprint was used for analysis. In the resisted sprint test the loads were applied with a weighted sled (Byomedic, Barcelona, Spain) attached to the athlete by a 2.7 m cord and waist harness. The weighted sled was comprised of a smooth surface about 0.4 m long and 0.3 wide. The sprint trials were

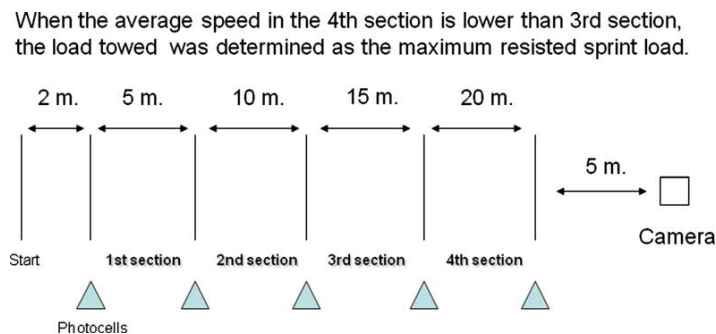


Figure 1. Scenario of the 20 m acceleration sprint.

conducted on a Mondo athletics track in an outdoor athletics stadium.

Loads were increased by 5% Bm, until the participant was unable to keep increasing his speed, so the sprint time from the last 5 m (17–22 m) was higher than the sprint time from 12 to 17 m. The sprint time was measured in every section of 5 m during the 20 m acceleration test (Figure 1). All athletes completed the test until the 30% Bm despite their loss of speed on the previous loads, to obtain data from all towing loads. The load that made athletes unable to increase their speed in relation to the last section was determined as the maximum resisted sprint load.

To determine whether the velocity reduction and the changes in SF and SL were dependent on maximal strength, two different performance groups (high and low strength level) were compared. The distribution criterion was the maximum strength in the half-squat and participants grouped above and below the median value.

Statistical analyses

Mean and standard deviations were calculated for each of the dependent and independent measures for each condition. Normal distribution and homogeneity of the parameters were checked with Shapiro–Wilks and Levene’s test. According to the result, a repeated-measures ANOVA with Bonferroni post hoc contrasts was used to determine whether there was a significant effect of sprint load on sprinting kinematics – sprint time, SF and SL.

A two factor (group \times load) repeated-measures ANOVA with Bonferroni post hoc contrasts was used to determine if maximal strength affects the variables of interest across resisted loads. Pearson’s correlation was used to determine the relationship between load and velocity variables in sprint, resisted sprint and half-squat. All statistical procedures were performed using SPSS for Windows 17.0 using an alpha level of 0.05.

Results

All the variables had normally distributed data. The effects of resisted sprinting on SL, SF and sprint time over 20 m are shown in Table I. Sprint time was significantly higher ($P < 0.001$) than in all the loaded conditions. The decrease in running velocity arose through decreases in both SL (~ 2 to $\sim 17\%$) and SF (~ 2 to $\sim 7\%$). All loads reduced SL significantly as compared to the unloaded sprinting, and between loads, except between 30% Bm and maximum resisted sprint load. SF was significantly lower to the unloaded condition at loads higher than 15% Bm. A significant decrease ($P < 0.05$) was found between 5% and loads bigger than 30% Bm.

Subject characteristics and strength values, and their distribution between a high and low strength group can be observed in Table II. Although significant differences were found between sprint time, SL and SF across loads these variables were not significantly different between the high and low strength groups. Therefore, these differences were not substantiated by the level of maximal strength in half-squat (Figure 2 and Table III).

A significant correlation was obtained between maximal load in resisted sprint and sprint time unloaded and loaded ($P < 0.05$ in 10% and 25% Bm, $P < 0.01$ in 15% and 30% Bm, $P < 0.001$ in unloaded, 5, 20% Bm and maximal load). Therefore, there was no significant correlation between half-squat variables and sprinting ability in loaded and unloaded conditions. No significant correlation was also found between half-squat 1 RM in relation to body mass and sprint ability (Table IV).

Discussion

This research has shown that the increase in loads involves a decrease in sprint performance over 20 m when athletes ran under different conditions: unresisted and towing sleds with loads between 5 and 30% Bm. Previous studies have suggested that

Table I. Mean \pm SD sprinting velocity, stride length and stride frequency across different resisted loads ($n = 21$)

	Resisted sprint load							
	Unloaded	5% Bm	10% Bm	15% Bm	20% Bm	25% Bm	30% Bm	MaxLoad
Sprint time, s	2.885 \pm 0.086	3.006 \pm 0.115***	3.099 \pm 0.130***	3.196 \pm 0.110***	3.277 \pm 0.136***	3.371 \pm 0.133***	3.463 \pm 0.153***	3.739 \pm 0.390***
Stride length, m	1.58 \pm 0.11	1.55 \pm 0.10*	1.52 \pm 0.10***	1.48 \pm 0.11***	1.44 \pm 0.10***	1.42 \pm 0.10***	1.40 \pm 0.10***	1.32 \pm 0.12***
Stride frequency, Hz	4.40 \pm 0.31	4.32 \pm 0.27	4.26 \pm 0.27	4.24 \pm 0.28**	4.23 \pm 0.26*	4.18 \pm 0.26**	4.15 \pm 0.25***	4.10 \pm 0.31***

Bm = body mass

*Statistically significant difference ($P < 0.01$) from unloaded sprinting.

**Statistically significant difference ($P < 0.01$) from unloaded sprinting.

***Statistically significant difference ($P < 0.001$) from unloaded sprinting.

Table II. Mean \pm SD age, body mass. Height and 1 RM for high and low strength groups ($n = 21$)

	Age (years)	Body mass (Kg)	Height (m)	1 RM (kg)
High level ($n = 10$)	19.38 \pm 2.26	73.11 \pm 7.07	1.77 \pm 0.05	184.13 \pm 13.21
Low level ($n = 11$)	17.00 \pm 1.95	66.76 \pm 6.70	1.76 \pm 0.07	143.85 \pm 10.66

resisted sprinting with sled significantly reduces sprint ability (Alcaraz et al., 2009; Letzelter et al., 1995; Lockie et al., 2003; Maulder et al., 2008, Murray et al., 2005) according to the present study.

In our study, a significant decrease was shown in SL with additional loading. These effects were found in other studies with sleds (Alcaraz et al., 2009; Corn & Knudson, 2003; Cronin et al., 2008; Lockie et al., 2003; Murray et al., 2005). A possible explanation is that working out with excessive loads in sled towing induces significant increases in centre of gravity vertical oscillation and significant reductions in SL (Alcaraz et al., 2009).

In addition, SF did not decrease significantly with loads under 15% BM; however, a significant decrease at the SF was observed with loads higher than 15% BM. Similar decreases in SF were found in other studies using loads between 12 and 32% BM (Alcaraz et al., 2008; Lockie et al., 2003). Conversely to these results, Lockie et al. (2003) reported that a higher SF is performed to compensate the effects in SL (Lockie et al., 2003).

In our study, the increase in sprint time with loads lower than 15% Bm could be a consequence of a reduction in SL; however, the increase in sprint time with loads higher than 15% Bm could be a function of reductions in SL and SF, according to the study of Lockie et al. (2003).

Additional loads may be said to increase muscular force output leading to a potential increase in SL over time (Faccioni, 1994; Lockie et al., 2003). In the current study, a non-significant correlation was found between maximal strength in half-squat and

the speed recorded in towing resistances or SL and SF. This coincides with the work by Letzelter et al. (1995) where the differences found in sprint time cannot be substantiated by the level of maximal strength.

After analyzing the differences between the strongest subject's group and the less strong subject's group, non-significant differences were observed. The relationship between maximal strength in half-squat and the sprint performance seems not to be clear, as there are some studies showing contradictory results on this issue (Baker & Nance, 1999; Juárez et al., 2008; Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004; Young, McLean, & Ardagna, 1995). Anyway, it is necessary to bear in mind that the relationship between the maximal strength and the sprint performance is influenced for the variables analyzed and the characteristics of the subjects (i.e. body mass). To determinate if this relationship could be affected by body mass a correlation analyses was performed between half-squat 1 RM/Bm and sprint ability. The results showed no significant correlation between them. Cronin and Sleivert (2005) suggest that strength qualities such as impulse, rate of force development of explosive strength may better predict athletic performance and hence it is the development of these qualities that research and strength training should focus on, in future research these strength qualities should be used to determinate this relationship.

In this sense, the high and significant correlation found in our study between maximal load in resisted sprint and sprint velocity suggests the use of this

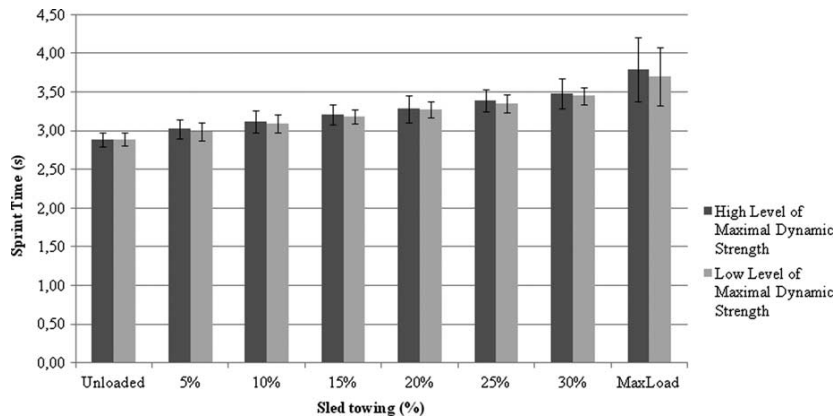


Figure 2. Mean \pm SD sprint velocity depending on the sample 1 RM level: High vs. low level of maximal dynamic strength.

Table III. Mean \pm SD stride rate and stride length in the maximal strength level groups ($n = 21$)

	Stride frequency		Stride length	
	High level	Low level	High level	Low level
Unloaded	4.38 \pm 0.40	4.41 \pm 0.27	1.59 \pm 0.12	1.58 \pm 0.11
5%	4.28 \pm 0.31	4.35 \pm 0.25	1.54 \pm 0.10	1.55 \pm 0.09
10%	4.19 \pm 0.28	4.31 \pm 0.27	1.53 \pm 0.11	1.52 \pm 0.09
15%	4.18 \pm 0.25	4.28 \pm 0.30	1.50 \pm 0.12	1.48 \pm 0.11
20%	4.24 \pm 0.25	4.23 \pm 0.28	1.44 \pm 0.11	1.46 \pm 0.10
25%	4.12 \pm 0.18	4.21 \pm 0.30	1.43 \pm 0.11	1.42 \pm 0.11
30%	4.07 \pm 0.20	4.19 \pm 0.28	1.41 \pm 0.11	1.39 \pm 0.10
MaxLoad	4.11 \pm 0.32	4.09 \pm 0.31	1.33 \pm 0.18	1.31 \pm 0.08

Table IV. Correlation between maximal strength and 1 RM in half-squat test, maximal load in resisted sprint and sprinting velocity in unloaded and loaded conditions

	1 RM	1 RM/Bm	MaxLoad (Resisted sprint)	Time unloaded	T5% Bm	T10% Bm	T15% Bm	T20% Bm	T25% Bm	T30% Bm	TMax Load
1 RM	1										
1 RM/Bm	0.712***	1									
MaxLoad (Resisted sprint)	-0.027	0.711***	1								
Time unloaded	-0.054	0.041	0.706***	1							
T5%Bm	0.071	0.054	0.734***	0.876**	1						
T10%Bm	0.029	0.158	-0.528*	0.668**	0.818***	1					
T15%Bm	0.025	0.065	-0.555**	0.635***	0.723***	0.771***	1				
T20%Bm	-0.090	-0.042	-0.650***	0.712***	0.779***	0.826***	0.920***	1			
T25%Bm	-0.045	0.126	-0.440*	0.640***	0.638***	0.785***	0.858***	0.835***	1		
T30%Bm	-0.105	-0.051	-0.629**	0.649***	0.732***	0.796***	0.871***	0.910***	0.887***	1	
TMaxLoad	0.077	0.153	0.932***	-0.490*	-0.468*	-0.248	-0.336	-0.463	-0.214	-0.4371	1

Bm, body mass; T, sprint time.

***Correlation is significant at the 0.001 level (2-tailed).

**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

*Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

measurement to assign loads as a proportion of individual strength. To our knowledge, this relationship not has been analyzed previously.

It is necessary to take into account that a research limitation of this study was the heterogeneity of participants (soccer players and sprinters). In this sense, different training adaptations in relation to their strength and velocity could be achieved.

Conclusion

The 20-m sprint performance decreased with increasing load at resisted running using sled in recreationally active athletes and national competitive level soccer players. SL decreased across all resisted conditions, while the SF increased with loads over 15% Bm.

No significant correlation was found between half-squat 1 RM and the sprint velocity. Conversely, high

relationship was found between maximal load in resisted sprint and sprint velocity. The knowledge of the individual maximal load in resisted sprint and the effects on the sprinting kinematic with different loads, could be interesting to determinate the optimal load to improve the acceleration phase at sprint running. The finding supports the use of a training load of approximately 15% Bm for a running distance of 20 m, to improve acceleration phase.

Acknowledgements

Thanks to the athletes who participated in the study and their coaches. We would like to thank Alejandro Redondo and Juan Jaime Arroyo for their assistance throughout the data gathering. This research was supported by Universidad Castilla La Mancha, Spain (FPI grant, code: PRINCET 02/11/2007).

References

- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., & Elvira, J. L. L. (2009). Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23, 480–485.
- Alcaraz, P. E., Palao, J. M., Elvira, J. L. L., & Linthorne, N. P. (2008). Effects of three types of resisted sprint training devices on the kinematics of sprinting at maximum velocity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 890–897.
- Baker, D., & Nance, S. (1999). The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 13, 230–235.
- Clark, K., Stearne, D., Walts, C., & Miller, A. (2010). The longitudinal effects of resisted sprint training using weighted sled vs. weighted vest. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24, 3287–3295.
- Corn, R. J., & Knudson, D. (2003). Effect of elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 72–75.
- Cronin, J., & Sleivert, G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sports Medicine*, 35, 213–234.
- Cronin, J., Hansen, K., Kawamori, N., & McNair, P. (2008). Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomechanics*, 7, 160–172.
- Delecluse, C. (1997). Influence of strength training on sprint running performance. *Sports Medicine*, 24, 147–156.
- Faccioni, A. (1994). Assisted and resisted methods for speed development: Part 2. *Modern Athlete and Coach*, 32, 8–12.
- Juárez, D., Navarro, F., Aceña, R., Gonzalez-Ravé, J. M., Arija, A., & Muñoz, V. (2008). Relación entre la fuerza máxima en squat y acciones de salto, sprint y golpeo de balón. *Revista Internacional de Ciencias del Deporte*, 4, 1–12.
- Letzelter, M., Sauerwein, G., & Burger, R. (1995). Resistance runs in speed development. *Modern Athlete and Coach*, 33, 7–12.
- Lockie, R. G., Murphy, A., & Spinks, C. D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field-sport athletes. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17, 760–767.
- Maulder, P. S., Bradshaw, E. J., & Keogh, J. W. L. (2008). Kinematic alterations due to different loading schemes in early acceleration sprint performance from starting blocks. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 22, 1992–2002.
- McBride, J. M., Nimphius, S., & Erickson, T. M. (2005). The acute effects of heavy-load squats and loaded countermovement jumps on sprint performance. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19, 893–897.
- Murray, A., Aitchison, T. C., Ross, G., Sutherland, K., Watt, I., McLean, D., et al. (2005). The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *Journal of Sports Sciences*, 23, 927–935.
- Ross, A., Leveritt, M., & Riek, S. (2001). Neural influences on sprint running. *Sports Medicine*, 31, 409–425.
- 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, 77–85.
- Thomas, G., Kramer, W., Spiering, B., Volek, J., Anderson, J., & Maresch, C. (2007). Maximal power at different percentages of one repetition maximum: Influence of resistance and gender. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 336–342.
- 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 Sport Medicine*, 38, 285–288.
- Young, W., McLean, B., & Ardagna, J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 35, 13–19.
- Zafeiridis, A., Saraslanidis, P., Manou, V., Ioakimidis, P., Dipla, K., & Kellis, S. (2005). The effects of resisted sled-pulling sprint training on acceleration and maximum speed performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 45, 284–290.

ANEXO 2

Carta de aceptación Artículo IV. Martínez-Valencia MA, Linthorne NP, Alcaraz PE. Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise. (Efecto de la potencia en miembros inferiores sobre el tiempo de sprint en un ejercicio de arrastre de trineo).

De: "Science & Sports" <ppesquies@dbmail.com>
Asunto: SCISPO - Your Submission
Fecha: 27 de febrero de 2013 09:37:29 GMT+01:00
Para: m.asuncion.martinez@gmail.com

Ms. Ref. No.: SCISPO-D-12-00149R3

Title: Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise Effet de la puissance explosive des membres inférieurs sur la performance en sprint avec traîneau résistif

Science & Sports

Dear Ms. Maria Asuncion Martinez,

I am pleased to confirm that your paper "Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise Effet de la puissance explosive des membres inférieurs sur la performance en sprint avec traîneau résistif" has been accepted for publication in Science & Sports.

Thank you for submitting your work to this journal.

With kind regards,

Jeanick Brisswalter, Professor
Editor / Redacteur
Science & Sports

Comments from the Editors and Reviewers:

TECHNICAL TIPS:

- 1) Please ensure that your e-mail server allows receipt of e-mails from the domain "elsevier.com", otherwise you may not receive vital e-mails.
- 2) We would strongly advise that you download the latest version of Acrobat Reader, which is available free at: <http://www.adobe.com/products/acrobat/readstep2.html>
- 3) To allow some windows of Elsevier Editorial System, you need to activate the "pop up". Please check the configuration of your browser Internet, and which of any extra tool bar as "Yahoo! Bar" or "Google bar". For these tool bars, please ensure that the control of the pop up is not activated.
- 4) For first-time users of Elsevier Editorial System, detailed instructions and a 'Tutorial for Reviewers' are available at: <http://ees.elsevier.com/scispo/>.

ELSEVIER EDITORIAL SYSTEM
Science & Sports
Ref.: Ms. No. SCISPO-D-12-00149R3

Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise Effet de la puissance explosive des membres inférieurs sur la performance en sprint avec traîneau résistif

Cher(e) Ms. Maria Asuncion Martinez,

J'ai le plaisir de vous annoncer que votre article a été accepté par le comité de rédaction et paraîtra dans un prochain numéro de la revue.

En vous remerciant vivement de votre précieuse collaboration.

Bien cordialement,

Jeanick Brisswalter, Professor
Editor / Redacteur
Science & Sports

Commentaires du comité de rédaction et des lecteurs :

IMPORTANT:

- 1) Merci de vous assurer que votre serveur de mail ne vous interdit pas la réception de courriers électroniques envoyés par « elsevier.com », vous pourriez ne pas recevoir certains courriers importants.
- 2) Il vous est fortement recommandé d'avoir la dernière version d'Acrobat Reader, qui est disponible gratuitement sur : <http://www.adobe.fr/products/acrobat/readstep2.html>.
- 3) Pour accéder à certaines pages importantes du site, il faut activer les « pop up ». Veuillez bien à vérifier la configuration de votre navigateur Internet, et celle des barres de navigation telles que « Yahoo ! Tool bar », ou « Barre d'outils Google », et à désactiver le blocage des « pop up » sur le site de la revue. Cela ne vous expose à aucun risque.
- 4) Pour une première utilisation du système éditorial Elsevier (EES), un mode d'emploi et un guide sont disponibles sur la page d'accueil du site : <http://ees.elsevier.com/scispo/>.

ANEXO 3

Modelo hoja de Consentimiento Informado entregada a los participantes de cada uno de los estudios que conforman la presente Tesis Doctoral.

Informe de Consentimiento

Yo, _____, con DNI n°: _____

acepto participar en las pruebas de medida realizadas en el ESTUDIO bajo los siguientes términos:

1. He leído las explicaciones de los Procedimientos de Medida del estudio “EFECTOS AGUDOS DEL ENTRENAMIENTO RESISTIDO CON ARRASTRE DE TRINEO” adjuntos y entendido qué debo realizar.
2. Entiendo que realizaré ejercicio físico cerca o al máximo de mis posibilidades y que existe un posible riesgo al realizar actividad física a ese nivel. Ello incluye, episodios de dolor de cabeza ligeros pasajeros, desmayos, presión sanguínea anormal, molestias en el pecho y náuseas.
3. Entiendo que esto puede ocurrir mientras el personal del LED se ocupa adecuadamente de las mediciones aquí realizadas, por lo que asumo ese riesgo.
4. Entiendo que puedo retirar mi consentimiento, libremente y sin perjuicios, en cualquier momento antes, durante o después de las mediciones.
5. He informado a los encargados que llevan a cabo las mediciones sobre cualquier enfermedad o defecto físico que presento que pueda contribuir a aumentar el nivel de los anteriormente citados riesgos.
6. Entiendo que la información obtenida del test será tratada confidencialmente bajo mis derechos de privacidad. Sin embargo, dicha información podrá ser tratada por razones estadísticas o científicas.

7. Libero al LED y su personal de cualquier responsabilidad fruto de cualquier lesión o enfermedad que pueda sufrir mientras se desarrollan las mediciones o que ocurran posteriormente en conexión con éstas.
8. Por la presente, estoy de acuerdo en exponerme a las mediciones en condiciones adecuadas para la realización de las mismas.

Firma del Participante: _____ Fecha: _____

Nombre del padre/madre o tutor (si el sujeto tiene menos de 18 años): _____

_____ DNI nº: _____

Firma del mismo: _____ Fecha: _____

Nombre del Testigo* _____

Firma del Testigo: _____ Fecha: _____

*El Testigo debe ser una persona con la mayoría de edad (entrenador, director técnico o cualquier otra persona allegada al participante).

Procedimientos de Medida del LED

Composición Corporal. Consisten en mediciones simples de la talla, peso y composición corporal. La última se estima utilizando mediciones no invasivas (no perjudiciales o dolorosas para el cuerpo).

Test de Velocidad. Estos test, normalmente sobre un pavimento sintético, calculan la capacidad acelerativa y de velocidad máxima. La evaluación de la capacidad acelerativa se realiza con un protocolo de carrera sobre 20 o 30 metros, realizados a máxima intensidad. Se requiere de la utilización de un sistema de fotocélulas.

Test de Fuerza. La fuerza se puede medir con pesos libres (mancuernas o barras), aparatos isocinéticos (biodex) o propio peso corporal (saltos o dominadas); en cualquier caso se mide la fuerza generada por varios grupos musculares del cuerpo. Estos test involucran de moderado a máximo esfuerzo en uno o varios movimientos corporales determinados. Si existe un historial de inestabilidad articular o sobrecarga muscular, los test de fuerza no deben realizarse a menos que adaptaciones especiales sean realizadas.

ANEXO 4

Curriculum vitae

CURRICULUM VITAE

Datos Personales

Apellidos: Martínez Valencia

Nombre: M^aAsunción

Nacionalidad: Española

Fecha Nacimiento: 07/11/1985

Correo electrónico: m.asuncion.martinez@gmail.com

Actividad Académica

- ❖ Licenciada en Ciencias de La Actividad Física y el Deporte, UCLM, Toledo, 2003 – 2007.
- ❖ Premio Extraordinario Fin de Carrera, VI Promoción, Facultad Ciencias del Deporte, Toledo, 2003 – 2007.
- ❖ Programa de Doctorado “Rendimiento Deportivo”, UCLM, 2007 – 2009.
- ❖ Miembro del Grupo de Investigación de la UCLM “Rendimiento Deportivo”, 2007 – 2011.
- ❖ Master Alto Rendimiento, Comité Olímpico Español, 2010 – Actualmente.

Actividad de Carácter Científico

- ❖ Becaria Predoctoral FPI, UCLM y Consejería de Educación, Ciencia y Cultura, JCCM, 2008 – 2011. Ayuda para la formación de personal investigador por la orden 02/11/2007.
- ❖ Evaluador en el Programa de Evaluación de Nadadores desarrollado en colaboración FNCLM – UCLM, 2008 – 2011.
- ❖ Evaluador en el Programa de Evaluación de Nadadores desarrollado en colaboración RFEN – UCLM, 2008 – 2011.

- ❖ Evaluador en el Programa de Evaluación de Ciclistas desarrollado en colaboración FCCLM – UCLM, 2008 – 2011.

Idiomas

- ❖ Español: Materno
- ❖ Inglés, Certificado B1. Actualmente 2-B2.
- ❖ Alemán, actualmente A1.

Participación en Proyectos de Investigación

- ❖ Desarrollo de líneas asociadas al grupo de investigación Entrenamiento Deportivo con entidades deportivas para el seguimiento y control del rendimiento deportivo. UCLM, 28/02/2008 – 31/12/2008.
- ❖ Mejora del sistema AquaForce para la evaluación y entrenamiento de la potencia específica de nado, Viceconsejería de Ciencia y Tecnología, JCCM. 01/01/2012 – 31/12/2012.
- ❖ Efectos sobre el rendimiento, las fuerzas de reacción del suelo (GRF), el ratio de producción de fuerza (RFD), la rigidez y la cinemática tanto en saltos verticales como en la fase de aceleración y de máxima velocidad en el sprint al usar diferentes cargas resistidas. Ministerio de Ciencia e Innovación, 01/01/2012 – 31/12/2015.
- ❖ Efectos de un entrenamiento de fuerza en circuito de alta intensidad (/HRC) vs. entrenamiento tradicional de fuerza en futbolistas semi-profesionales, Cátedra Real Madrid – UEM, 01/01/2012 – 31/12/2012.

Publicaciones Científicas

Artículos en revistas de difusión internacional

- ❖ **Martínez-Valencia MA**, Juárez D, Alcaraz PE, Navarro-Valviello F, González-Ravé JM. Interrelationships between different loads in resisted sprints, half-squat 1RM, and kinematic variables in trained athletes. *European Journal of Sport Science*, 2011. DOI:10.1080/17461391.2011.638935.
- ❖ **Martínez-Valencia MA**, Linthorne NP, Alcaraz PE. Effect of lower body explosive power on sprint time in a sled-towing exercise. *Science & Sports* (Aceptado).
- ❖ **Martínez-Valencia MA**, Romero-Arenas S, Elvira JLL, González-Ravé JM, Navarro Valdivielso F, Alcaraz PE. Effects of sled towing on sprint performance, force and rate of force development in acceleration phase. *The Journal of Sports Medicine and Physical Fitness* (En revision).

Artículos en revistas de difusión nacional

- ❖ Clemente V, **Martínez-Valencia MA**, Muñoz V, González-Ravé JM. Fatiga del sistema nervioso central después de una prueba incremental de consumo máximo de oxígeno. *Archivos de Medicina del Deporte*, 2010.
- ❖ Clemente V, **Martínez-Valencia MA**, Muñoz V. Fatiga del sistema nervioso central después de realizar un test de capacidad de sprint repetidos (RSA) en jugadores de fútbol de categoría juvenil. *Apunts Med Esport*, 2011.
- ❖ **Martínez-Valencia MA**, González-Ravé JM, Navarro Valdivielso F, Alcaraz PE. Efectos agudos del trabajo resistido mediante trineo: Una revisión sistemática. *Cultura, Ciencia y Deporte* (En revisión).

Contribuciones a Congresos

Comunicaciones:

- ❖ **Martínez Valencia MA**, Clemente Suárez V, Navarro Valdivielso F, González-Ravé JM. Effects of plyometric training on lower body power and speed in female young athletes .XXX Fims World Congress of Sports Medicine. Barcelona, 18/23-11-2008.
- ❖ **Martínez Valencia MA**, Muñoz V, Arroyo JJ, González-Ravé JM, Navarro Valdivielso F. Alteraciones técnicas y cinéticas producidas en esfuerzos incrementales de velocidad resistida. I Congreso de Ciencias de Apoyo al Rendimiento Deportivo. Valencia, 26/28-11-2009.
- ❖ **Martínez Valencia MA**, Clemente Suárez V, Muñoz V, Hernández S, Moreno J, González-Ravé JM. Relación entre la velocidad y acciones de salto en diferentes especialidades atléticas. VII Curso de Medicina y Traumatología en el Deporte. VI Jornadas Regionales de Promoción de la Salud y Ejercicio Físico. Toledo, 15/16-01-2010.
- ❖ **Martínez Valencia MA**, Clemente Suárez V, Muñoz V. Efecto de cargas incrementales sobre la velocidad máxima de carrera en 20 metros en atletas de velocidad y medio fondo. III Congreso Internacional de Ciencias del Deporte y Educación Física. Pontevedra, 6/7-05-2010.
- ❖ **Martínez Valencia MA**, Hernández S, Esteban P, Díaz G, Muñoz V, Labrado S, Jiménez F, González-Ravé JM. Differences in Body composition between swimmers and synchronized swimmers. XIth Int. Symposium on Biomechanics and Medicine in Swimming. Oslo, Noruega, 16/19-06-2010.
- ❖ **Martínez Valencia MA**, Clemente Suárez V, Cordente C. Efectos del trineo sobre la cinemática de carrera en la fase inicial del sprint en un atleta internacional.

World Congress on Science in Athletics. Barcelona, 24/26-07-2010.

- ❖ **Martínez Valencia MA**, Clemente V, González-Rave JM, Navarro F. Relación entre la carga en 1RM en Semi-Squat y la velocidad en Sprint Resistido. I Congreso Internacional de Atletismo. Murcia, 16/19-12-2010.

Posters:

- ❖ **Martínez Valencia MA**, Clemente V, Parrilla I, González-Rave JM. Relación entre Frecuencia y Longitud de Zancada en carrera de velocidad resistida y la carga en 1RM en semi-squat. I Congreso Internacional de Atletismo. Murcia, 16/19-12-2010.
- ❖ **Martínez Valencia MA**, Romero-Arenas S, Elvira JLL, Alcaraz PE. Relationship between RFD and sprint performance in resisted sprinting towing a range of relative loads. 16th Annual Congress of the European College of Sport Science. Liverpool (Reino Unido), 06/09-07-2011.

Estancias en Centros de Reconocido Prestigio Internacional

- ❖ Universidad Católica San Antonio de Murcia, Guadalupe (Murcia), 6 semanas, 2010.
- ❖ Centre for Sports Medicine and Human Performance, School of Sports and Education, Brunel University, Londres (Reino Unido), 3 meses, 2011.