



UNIVERSIDAD CATÓLICA  
SAN ANTONIO  
**UCAM**

*Facultad de CC. de la Salud, la Actividad Física y del Deporte*

*Departamento de CC. de la Actividad Física y del Deporte*

*Adaptaciones Cinemáticas, Cinéticas y Antropométricas  
tras un Entrenamiento de Corta Duración con Arrastres  
de Trineo en Atletas Entrenados*

***Pedro Emilio Alcaraz Ramón***

*Directores de Tesis Doctoral:*

*José Luis López Elvira y José Manuel Palao Andrés*

*Murcia, 2009*





**UNIVERSIDAD CATÓLICA  
SAN ANTONIO  
UCAM**

*Facultad de CC. de la Salud, la Actividad Física y del Deporte*

*Departamento de CC. de la Actividad Física y del Deporte*

*Adaptaciones Cinemáticas, Cinéticas y Antropométricas  
tras un Entrenamiento de Corta Duración con Arrastres  
de Trineo en Atletas Entrenados*

Memoria que presenta el Licenciado

***D. Pedro Emilio Alcaraz Ramón***

para optar al grado de Doctor Europeo en Ciencias de la Actividad Física y del  
Deporte.

Murcia, diciembre de 2008

Los que suscriben, Dr. D. JOSÉ LUIS LÓPEZ ELVIRA y Dr. D. JOSÉ  
MANUEL PALAO ANDRÉS

Directores de la Tesis elaborada por el doctorando:

Apellidos: ALCARAZ RAMÓN Nombre: PEDRO EMILIO

Con el Título: ADAPTACIONES CINEMÁTICAS, CINÉTICAS Y  
ANTROPOMÉTRICAS TRAS UN ENTRENAMIENTO DE CORTA DURACIÓN  
CON ARRASTRES DE TRINEO EN ATLETAS ENTRENADOS

Autorizan su presentación en orden a los trámites previos a su defensa de acuerdo con lo dispuesto en la Ley de Reforma Universitaria 11/1983, de 25 de agosto, y sus normas de desarrollo, en especial el R.D. 777/1998, de 30 de abril, por lo que se regula el Tercer Ciclo de estudios universitarios, la obtención y expedición del Título de Doctor Europeo y otros estudios de postgrado.

.....Murcia....., a...12...de...Diciembre.....de....2008

#### LOS DIRECTORES

Fdo.: José Luis López Elvira

Fdo.: José Manuel Palao Andrés

\* La realización de la presente Tesis Doctoral ha sido posible gracias a la subvención de la Universidad Católica San Antonio de Murcia mediante una beca y proyecto de investigación código PMAFI – PI – 05/1C/05.

*A mis padres, abuelos, padrinos, hermanos y sobrinos*

*A Eva y a mis amigos*

## AGRADECIMIENTOS

Me gustaría utilizar las primeras palabras de esta tesis para recordar a dos de los seres más queridos que han influido en mi vida. A mi *Lala*, Doña Gloria González Lorente, una de las personas que más amor me ha dado en esta vida. Gracias a ti estoy aquí escribiendo un documento del que espero que te sientas orgullosa desde lo más alto, a pesar de que siempre te tengo en mi corazón. A mi *Padrino*, Don Virgilio Pedro González Bezos, el hombre que hizo que todos mis sueños se hicieran realidad. Los dos juntos formasteis el tándem perfecto, una en el pensamiento, el otro en la acción, y fruto de ello, se creó la gran persona que intento ser, porque habéis dado mucho para que así fuera, es lo mínimo que merecéis. Nunca os olvidaré.

En segundo lugar, me gustaría agradecer a mis directores de tesis doctoral Dr. José Luis López Elvira y Dr. José Manuel Palao Andrés el esfuerzo hecho a lo largo de este proceso de aprendizaje tanto científico como humano. Gracias por confiar en mi habilidad como investigador, confiándome una libertad extra para desarrollar el objeto principal de esta tesis. Habéis estado siempre a mi lado para guiarme en los momentos de menor lucidez y me habéis alentado siempre que lo he necesitado.

Al Dr. Xavier Aguado Jodar, por aportar tantos conocimientos además de prestar, sin pedir nada a cambio, todo lo que hemos necesitado de su laboratorio.

Al Dr. Nicholas P. Linthorne y al Dr. Anthony J. Blazeovich, por acogerme como en su casa en las estancias que he realizado en la Universidad Brunel, sin el conocimiento que ellos me han aportado no seré el investigador que espero llegar a ser.

A todos mis compañeros de departamento y de investigación, en especial a Antonio Calderón Luquin, Juan Alfonso García Roca, Carmen Ferragut Fiol, Helena Vila Suárez, Jorge Pérez Gómez, Luis Carrasco Páez, Esmeraldo Martínez Pardo y Ana Belén Avilés López, por su apoyo incondicional tanto en la recogida de datos como en el logístico. He aprendido mucho junto a vosotros.

A los alumnos internos Lorena Correas y Fernando Fernández, por dedicar parte de su valioso tiempo en el proceso de digitalización y de recogida de datos, estaré a vuestro lado cuando me necesitéis.

A la Universidad Católica San Antonio de Murcia, por ofrecerme la oportunidad de poder llevar a cabo las investigaciones que han sido necesarias para conseguir con éxito la finalización de esta tesis. Muchas gracias por la beca recibida durante estos 4 años. Creo que he aprovechado de forma óptima los vientos favorables que esta Gran Institución me ha aportado.

Al Vicerrectorado de Investigación de la UCAM, en especial al Dr. Luis Tejada, a M<sup>a</sup> Carmen Hernández, Miguel Ángel Palomino, Adolfo Avilés y Silvia Navarro por creer en mis posibilidades desde el principio.

A la Universidad Brunel (London), en especial al Centre for Sports Medicine and Human Performance, por haberme permitido llevar a cabo estudios pilotos que en España no habrían sido posibles. Gracias por acogerme, como uno más de vuestros valiosos investigadores, durante los veranos del 2005 y 2006.

A todos los atletas que han participado en los estudios llevados a cabo para la obtención de la tesis, en especial a los atletas internacionales José María Gómez Peña, Alberto Ferrer, José Serrahima y Patricia Paz que han perdido parte de su programación anual para poder participar en este ambicioso proyecto.

A Emilio Alcaraz, Salva Romero y Pedro Pérez, por aportarme durante estos años tanto conocimiento práctico, además de ser unos grandes hermanos/amigos.

Al club de atletismo Ucam-Cartagena, por dejarme utilizar a la mayor parte de sus atletas de nivel nacional e internacional, además de las instalaciones y material requerido en las sesiones prácticas.

A la Federación de Atletismo de la Región de Murcia, en concreto a su presidente D. Rosendo Berengüí, por apoyar todos nuestros estudios facilitando tanto los atletas como el material necesario.

Al Centro de Alto Rendimiento Infanta Cristina, especialmente a D. Javier Navarro, por todo el material prestado, además de su apoyo incondicional.

Por último, y no por ello menos importantes, a mi madre Dña. Josefa Ramón Hernández. A mis hermanas y hermanos, Cande, Glori, Ara, Merce, M<sup>a</sup> José, Lucia, Inma, Emilio, Nacho, Natalia, Fernando, gracias por haberme apoyado en todo momento, perdonad por no haberos dedicado todo el tiempo que merecéis, espero poder recuperarlo a partir de ahora. A Eva, que tantos ratos de sufrimiento ha tenido que aguantar, tú sabes que han merecido la pena.

*"Solo es capaz de realizar los sueños el que, cuando llega  
la hora, sabe estar despierto"*

*León Daudí*

## PUBLICACIONES/COMUNICACIONES DE LA TESIS

### Artículos

Alcaraz, P.E., Palao, J.M., Elvira, J.L.L., & Linthorne, N.P. Effects of Three Types of Resisted Sprint Training Devices on the Kinematics of Sprinting at Maximum Velocity. *J Strength Cond Res.* 2008; 22 (3): 890-897.

Alcaraz, P.E., Palao, J.M., Elvira, J.L.L. Determining The Optimal Load for Sprint Training with Sled Towing. *J Strength Cond Res.* (En Prensa).

Alcaraz Ramón, P.E. & Palao Andrés, J.M. Medios y métodos de entrenamiento de los especialistas en velocidad y pruebas combinadas de la Región de Murcia. *Kronos.* 2007; 6(11): 53-60.

### Comunicaciones

Alcaraz, P.E., Elvira, J.L.L., & Palao, J.M. (2008). Kinematics Adaptations to Short-Term Sled Towing and Sprint Training. *XIII Annual Congress of the European College of Sports Sciences*, Estoril, Portugal, July 2008.

Alcaraz, P.E., Palao Andrés, J.M., & Elvira, J.L.L. (2007). Determining the Optimal Load for Resisted Sprint Training with Sled Towing. A Pilot Study. *XXV International Symposium of Biomechanics in Sport*, Ouro Preto, Brazil, August 2007.

Alcaraz, P.E., Elvira, J.L.L., & Palao Andrés, J.M. (2007). Performance Adaptations to Short-Term Sled Towing and Sprint Training. *XXV International Symposium of Biomechanics in Sport*, Ouro Preto, Brazil, August 2007.

Elvira, J.L.L., Alcaraz, P.E., & Palao Andrés, J.M. (2006). Effects of Different Resisted Sprint Running Methods on Stride Length, Stride Frequency, and CG Vertical Oscillation. *XXIV International Symposium of Biomechanics in Sport*, Salzburg, Austria, July 2006.

Alcaraz, P.E., Palao Andrés, J.M., y López Elvira, J.L. (2005). Effects of Different Strength-Specific Resisted Running Methods on Maximum Velocity. I Congreso Internacional UEM: Actividad física y Deporte en la Sociedad del Siglo XXI, Madrid, Spain, Junio-Julio 2005.

## RESUMEN

**Alcaraz, Pedro E.** (2009). Adaptaciones cinemáticas, cinéticas y antropométricas tras un entrenamiento de corta duración con arrastres de trineo en atletas entrenados. Murcia: Universidad Católica San Antonio; Tesis Doctoral sin publicar.

**Introducción:** el trabajo con arrastres de trineo es un método común de entrenamiento para la mejora del rendimiento en el sprint, tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad. Sin embargo, son pocos los trabajos de investigación que se han centrado en estudiar las adaptaciones al mismo en la fase de aceleración, o en la fase de máxima velocidad con sujetos entrenados. El objetivo del presente trabajo fue estudiar las adaptaciones cinemáticas, cinéticas y antropométricas tras un entrenamiento de cuatro semanas con arrastres de trineo en la fase de aceleración y de máxima velocidad del sprint, en atletas entrenados. **Método:** Veintidós atletas (8 mujeres y 14 hombres) de nivel nacional divididos en dos grupos participaron voluntariamente en el estudio. Se realizó un diseño cuasi-experimental intra e inter-sujetos con pre y post-test. Las variables objeto de estudio fueron de carácter cinemático, cinético, músculo-articular y antropométrico. Los sujetos realizaron una fase inicial de tres semanas de familiarización, integradas por dos sesiones de entrenamiento de musculación, combinado con otras dos sesiones de entrenamiento de velocidad y saltos. Tras esta fase, y después de dividir aleatoriamente la muestra en dos grupos denominados grupo experimental (GE) y grupo control (GC),

dependiendo del tipo de entrenamiento realizado, se realizó una segunda fase de cuatro semanas de entrenamiento diferenciado. En esta segunda fase, los grupos realizaron dos sesiones semanales de velocidad y saltos, una sesión de regeneración y dos sesiones de musculación con altas cargas (10-8 RM's), la única diferencia en el entrenamiento fue que el GE realizaba las series de velocidad arrastrando un trineo que producía el 7.5% de pérdida de la máxima velocidad. Al inicio y al final de las 4 semanas de entrenamiento específico, los atletas realizaron los siguientes test: sprints a máxima intensidad sobre 50 m con salida de tacos, tomando el tiempo en intervalos de 15 m, 30 m y 50 m; test de salto vertical: salto en sentadilla con un ángulo de 90° (SJ) y de 120° (SJM), salto con contramovimiento (CMJ) y salto con caída de 50 cm (DJ); una repetición máxima (1-RM) y potencia (POW) al 30%, 45%, 60%, 70% y 80% de 1-RM en media sentadilla; y fuerza isocinética concéntrica (FIC) de los flexores y extensores de la cadera a velocidades de 60°· s<sup>-1</sup>, 180°· s<sup>-1</sup>, 270°· s<sup>-1</sup> y 450°· s<sup>-1</sup>. Se realizó un estudio fotogramétrico de la técnica de carrera en la fase de aceleración (tres primeras zancadas) en el instante de contacto (T<sub>down</sub>) y de despegue (T<sub>off</sub>), y de la fase de máxima velocidad (45 m) en los instantes T<sub>down</sub>, apoyo medio (T<sub>mid</sub>) y T<sub>off</sub>. También se realizó un estudio antropométrico. Para conocer las diferencias intra-grupos se realizó un *T*-test para muestras relacionadas. Para determinar las diferencias inter-grupos se realizó un *T*-test para muestras independientes. **Resultados:** en el GE se observaron diferencias estadísticamente significativas en: la disminución del tiempo y el aumento de la velocidad media en la fase de transición (15-30 m); el aumento de la inclinación del tronco en T<sub>down</sub> en la fase de aceleración, el

aumento de la amplitud de zancada y de la distancia de aterrizaje, además de diferentes variables cinemáticas relacionadas en  $T_{down}$  y  $T_{mid}$ , en la fase de máxima velocidad; el aumento de la 1-RM y POW al 45% y 70% de 1-RM; la mejora de la FIC de los flexores de cadera a  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  y  $270^{\circ} \cdot s^{-1}$  en valores absolutos y a  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  relativos al PC; así como un incremento en la fuerza máxima aplicada durante los primeros 100 ms desde el comienzo del SJM. En el GC se produjeron las siguientes modificaciones estadísticamente significativas: una disminución del tiempo y un aumento en la velocidad media en la fase de máxima velocidad (30-50 m); en la fase de aceleración, un incremento en la velocidad angular de la rodilla libre, en la fase de máxima velocidad, una disminución de los tiempos de contacto y un aumento en la inclinación de tronco en  $T_{mid}$ , además de diferentes modificaciones cinemáticas relacionadas con dichas variables en los tres instantes; una mejora de la 1-RM y la potencia al 30% de 1-RM; un incremento de la FIC de los flexores de cadera en todas las velocidades, para los valores absolutos, y a las velocidades de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  y  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  relativos al PC; una mejora de la potencia pico al realizar un SJM; así como una tendencia a la significación en la rigidez vertical ( $p = 0.081$ ). Tan sólo se han encontrado diferencias estadísticamente significativas inter-grupos para las variables tiempo de contacto y fuerza máxima aplicada durante los primeros 100 ms desde el comienzo del SJM. **Discusión:** los resultados parecen indicar que el GE mejora el rendimiento en la fase de transición, mientras que el GC lo mejora en la fase de máxima velocidad. El entrenamiento resistido produce una mejora en la 1-RM que junto a las modificaciones en la configuración del atleta en las distintas fases (aumento de la

distancia de aterrizaje, acompañado de un aumento de la amplitud de zancada) orienta las mejoras hacia un incremento en el rendimiento en la fase de transición del sprint. El entrenamiento del GC, además de mejorar la 1-RM, produce mejoras en la rigidez vertical, por un posible aumento de la coordinación inter-muscular. Este incremento influye positivamente en la reducción de los tiempos de contacto, que inciden de forma directa en un aumento en el rendimiento de la fase de máxima velocidad del sprint. **Conclusiones:** el entrenamiento a corto plazo con entrenamiento resistido en atletas entrenados produce adaptaciones cinemáticas y cinéticas similares a las del GC. Sin embargo, el reflejo a corto plazo en el rendimiento es diferente. El GE lo mejora en la fase de transición, mientras que el GC lo mejora en la fase de máxima velocidad. Estas mejoras se producen por un aumento de la amplitud de zancada en el GE, y un descenso de los tiempos de contacto y un aumento de la rigidez vertical en el GC.

## ABSTRACT

**Alcaraz, Pedro E.** (2009). Kinematic, kinetic, and anthropometric adaptations after short-term sled towing sprint training on experienced athletes. Murcia: Universidad Católica San Antonio; Unpublished Dissertation.

**Introduction:** the use of resisted sprinting techniques is common in athletics and in a variety of sports. However, previous research has focused on studying the adaptations when applying these methods on untrained subjects. As neural adaptations in the neuromuscular system in elite athletes may differ from those adaptations reported for untrained athletes, the results from those studies may not be representative of experienced athletes. The aim of this study was to examine the effects of four weeks of resisted and unloaded sprint training programs on sprint kinematics, kinetics, and anthropometry, on experienced athletes. **Method:** eight female and 14 male national-level athletes with 8-9 years of training experience participated in a standardized three-week program (sprint, jump, resisted, and resistance training five days per week). A cuasi-experimental intra e inter-subject design with pre and post-test was used. The dependent variables were from kinematic, kinetic, and anthropometric character. Following the standardized program, participants took part in one of two different 4-week programs: a) resisted sprint training (GE) ( $n = 11$ ) with a load that yields a reduction of 7.5% on maximum velocity, or b) traditional sprint training (GC) ( $n = 11$ ). Before and after the four-week specific training phase, subjects performed the following test: 50 m sprints from the starting blocks. 4 photocells were placed at 1

m, 16 m, 31 m, and 51 m from the start line; vertical jump test: squat jump (SJ) and modified SJ (SJM) (120° angle), countermovement jump (CMJ), and 50 cm drop jump (DJ); maximum dynamic strength (1-RM) on half squat exercise, peak power output (POW) in half squat exercise using resistances of 30%, 45%, 60%, 70%, and 80% of 1-RM, and isokinetic concentric strength (FIC) of the hip flexors/extensors at 60°·s<sup>-1</sup>, 180°·s<sup>-1</sup>, 270°·s<sup>-1</sup> and 450°·s<sup>-1</sup>. In addition to these performance test, a 2D photogrammetric analysis of the acceleration (three first strides), in touchdown (T<sub>down</sub>) and takeoff (T<sub>off</sub>) instants, and maximum velocity (45 m) phases, in T<sub>down</sub>, touchmiddle (T<sub>mid</sub>) and T<sub>off</sub> instants, of sprinting was carried out. In addition, an anthropometric study was done. Starting from these last analysis, leg and vertical stiffness was modelled from just a few simple mechanical parameters. T-test for dependent and independent samples was used. **Results:** the results indicated that a 4-week resisted training program significantly: a) decreased sprint time and improved average velocity in the transition phase (16-31 m); b) increased athlete body lean in T<sub>down</sub> in the acceleration phase, and enhanced stride length and landing distance, beside a modification in different kinematic variables related, in T<sub>down</sub> and T<sub>mid</sub>, in the maximum velocity phase; c) improved 1-RM and POW at 45% and 70% of 1-RM; increased the FIC of the hip flexors at 180°·s<sup>-1</sup> and 270°·s<sup>-1</sup> in absolute data, and at 180°·s<sup>-1</sup> relative to PC; d) enhanced maximum force applied at 100 ms from the start of a SJM. In the CG, the following statistically significant modifications were found: a) decreased sprint time and improved average velocity in the maximum velocity phase (31-51 m); b) increased free knee angular velocity in the acceleration phase, reduced contact time and increased

athlete body lean in  $T_{mid}$ , beside a modification in different kinematic variables related in the three instants, in the maximum velocity phase; c) improved 1-RM and POW at 30% of 1-RM; d) increased the FIC of the hip flexors at all velocities studied, in absolute data, and at  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  and  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  relative to PC; bettered the peak POW when performing a SJM; finally, a tendency to signification was found in vertical stiffness ( $p = 0.081$ ). Minimal inter-group significant differences were found in contact time and force applied at 100 ms from the start of a SJM.

**Discussion:** the GE significantly improved the time in the transition phase, while the GC improved performance in the maximum velocity phase. These differences were a consequence of the distinct adaptations produced for the trainings. The training in the GE enhanced 1-RM, besides changes in the athlete gait in the different phases (increased landing distances and stride length), improves the performance in the transition phases of the sprint. However, training in the GC, apart from improving the 1-RM, produces increases in the vertical stiffness, because of an attainable increase in the inter-muscular coordination. This gain has positive influences in the contact time reductions, which directly affect the high performance in the maximum velocity phase of the sprint.

**Conclusions:** short-term sled towing in trained athletes produces similar kinematic and kinetic adaptations than the GC training, however, the effects on performance is different. The GE improves performance in the transition phases, mainly for the development of the stride length, while the GC improves in the maximum velocity phase of sprinting, owed to a decline in contact time and an enhancement in vertical stiffness.





|   |     |
|---|-----|
| de zancada .....  | 99  |
| 2.3.2.2. <i>Variables cinéticas</i> .....   | 100 |
| 2.3.2.2.1. Fuerzas internas.....  | 100 |
| 2.3.2.2.2. Fuerzas externas .....   | 103 |
| 2.3.2.3. <i>Cineantropometría</i> .....   | 111 |
| 2.3.2.3.1. Composición corporal.....  | 112 |
| 2.3.2.3.2. Arquitectura muscular .....  | 113 |
| 2.3.2.4. <i>Mecánica músculo-articular. Efecto de la rigidez sobre el rendimiento</i> ..... | 115 |
| 2.3.2.5. <i>Grupos musculares implicados</i> .....  | 118 |
| 2.4. EL RENDIMIENTO EN EL SPRINT .....  | 120 |
| 2.4.1. <b>El entrenamiento</b> .....  | 121 |
| 2.4.2. <b>El entrenamiento en el sprint</b> .....   | 124 |
| 2.4.2.1. <i>Principio de especificidad del entrenamiento</i> .....                          | 126 |
| 2.4.2.2. <i>Barrera de velocidad en el sprint</i> .....                                     | 127 |
| 2.4.2.3. <i>Factores a considerar en el entrenamiento del sprint</i> .....                  | 128 |
| 2.4.2.3.1. Flexibilidad .....   | 129 |
| 2.4.2.3.2. Coordinación inter-muscular .....  | 129 |
| 2.4.2.3.3. Potencia .....   | 130 |
| 2.4.2.3.4. Técnica.....   | 138 |
| 2.4.2.3.5. Fatiga.....  | 139 |
| 2.4.2.4. <i>Métodos y medios para el entrenamiento del sprint</i> .....                     | 142 |
| 2.4.2.4.1. Métodos primarios.....   | 144 |

---

|  |            |
|--|------------|
| 2.4.2.4.2. Métodos secundarios .....                     | 153        |
| 2.4.2.4.3. Métodos terciarios.....                       | 181        |
| 2.4.2.4.4. Resumen .....                                 | 186        |
| <b>CAPÍTULO 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS .....</b>           | <b>187</b> |
| 3.1. OBJETIVOS.....                                      | 189        |
| 3.3. HIPÓTESIS .....                                     | 190        |
| 3.4. LIMITACIONES .....                                  | 192        |
| 3.5. DELIMITACIONES .....                                | 194        |
| <b>CAPÍTULO 4. MÉTODO .....</b>                          | <b>195</b> |
| 4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN .....                    | 197        |
| 4.1.1. <b>Variables</b> .....                            | 197        |
| 4.1.1.1. <i>Variables independientes</i> .....           | 198        |
| 4.1.1.2. <i>Variables dependientes</i> .....             | 198        |
| 4.1.1.2.1. Cinemáticas.....                              | 199        |
| 4.1.1.2.2. Cinéticas.....                                | 201        |
| 4.1.1.2.3. Antropométricas.....                          | 202        |
| 4.1.1.2.4. Mecánico muscular-articular .....             | 203        |
| 4.1.1.3. <i>Variables de Control</i> .....               | 204        |
| 4.1.1.3.1. Velocidad del viento .....                    | 204        |
| 4.1.1.3.2. Superficie de la pista de entrenamiento ..... | 204        |
| 4.1.1.3.3. Actividad deportiva extra y asistencia .....  | 204        |
| 4.1.1.3.4. Composición corporal.....                     | 205        |
| 4.1.1.3.5. Fisiológicas.....                             | 205        |

---

|  |     |
|--|-----|
| 4.1.1.3.6. Psicológicas .....                  | 205 |
| 4.1.2. <b>Planificación</b> .....              | 206 |
| 4.2. SUJETOS.....                              | 207 |
| 4.3. INSTRUMENTOS.....                         | 209 |
| 4.3.1. <b>Variables dependientes</b> .....     | 210 |
| 4.3.1.1. <i>Cinemáticas</i> .....              | 210 |
| 4.3.1.1.1. Videocámaras.....                   | 210 |
| 4.3.1.1.2. Marco de calibración .....          | 210 |
| 4.3.1.1.3. Radar.....                          | 211 |
| 4.3.1.1.4. Células fotoeléctricas.....         | 211 |
| 4.3.1.2. <i>Cinéticas</i> .....                | 211 |
| 4.3.1.2.1. Encóder lineal rotatorio.....       | 211 |
| 4.3.1.2.2. Dinamómetro isocinético.....        | 212 |
| 4.3.1.2.3. Plataforma de fuerzas .....         | 212 |
| 4.3.1.2.4. Goniómetro .....                    | 213 |
| 4.3.1.3. <i>Antropométricas</i> .....          | 213 |
| 4.3.1.3.1. Cinta métrica .....                 | 213 |
| 4.3.1.3.2. Plicómetro .....                    | 213 |
| 4.3.2. <b>Contaminantes y de control</b> ..... | 214 |
| 4.3.2.1. <i>Anemómetro</i> .....               | 214 |
| 4.3.2.2. <i>Diario de entrenamiento</i> .....  | 214 |
| 4.3.2.3. <i>Material antropométrico</i> .....  | 214 |
| 4.3.2.4. <i>Cuestionario POMS</i> .....        | 214 |

---

|   |     |
|---|-----|
| 4.4. PROCEDIMIENTOS.....  | 215 |
| <b>4.4.1. Variables dependientes</b> .....                      | 215 |
| 4.4.1.1. <i>Cinemáticas</i> .....                               | 215 |
| 4.4.1.2. <i>Cinéticas</i> .....                                 | 229 |
| 4.4.1.3. <i>Antropométricas</i> .....                           | 235 |
| 4.4.1.4. <i>Mecánico musculares-articulares</i> .....           | 236 |
| <b>4.4.2. Variables contaminantes y de control</b> .....        | 238 |
| 4.4.2.1. <i>Velocidad del viento</i> .....                      | 238 |
| 4.4.2.2. <i>Superficie de la pista</i> .....                    | 238 |
| 4.4.2.3. <i>Actividad deportiva extra y asistencia</i> .....    | 238 |
| 4.4.2.4. <i>Estatura y masa corporal</i> .....                  | 239 |
| 4.4.2.5. <i>Variables fisiológicas</i> .....                    | 239 |
| 4.4.2.6. <i>Variables psicológicas</i> .....                    | 240 |
| <b>4.4.3. Estandarización del entrenamiento</b> .....           | 240 |
| 4.4.3.1. <i>Entrenamiento de musculación</i> .....              | 242 |
| 4.4.3.2. <i>Entrenamiento de velocidad y multisaltos</i> .....  | 242 |
| 4.4.3.3. <i>Evaluación inicial y final</i> .....                | 243 |
| <b>4.4.4. Periodo de entrenamiento</b> .....                    | 244 |
| 4.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS.....                                 | 247 |
| <b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS</b> .....                             | 249 |
| 5.1. VARIABLES CINEMÁTICAS.....                                 | 251 |
| 5.2. VARIABLES CINÉTICAS Y MECÁNICO MUCULARES-ARTICULARES ..... | 293 |
| 5.3. VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS.....                             | 305 |

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>CAPÍTULO 6. DISCUSIÓN</b> .....  | 309 |
| 6.1. VARIABLES CINEMÁTICAS.....   | 311 |
| 6.1.1. <b>Tiempos y velocidades medias para las distintas fases</b> .....         | 311 |
| 6.1.2. <b>Velocidad instantánea máxima del COM</b> .....                          | 316 |
| 6.1.3. <b>Tiempos con arrastres para las distintas fases</b> .....                | 318 |
| 6.1.4. <b>Desplazamientos lineales-angulares y variables temporales</b> .....     | 319 |
| 6.1.4.1. <i>Fase de aceleración</i> .....   | 320 |
| 6.1.4.2. <i>Fase de máxima velocidad</i> .....                                    | 326 |
| 6.2. VARIABLES CINÉTICAS.....   | 339 |
| 6.2.1. <b>Potencia mecánica pico</b> .....  | 339 |
| 6.2.2. <b>Fuerza dinámica máxima</b> .....  | 343 |
| 6.2.3. <b>Fuerza isocinética máxima</b> .....                                     | 345 |
| 6.2.4. <b>Rendimiento en saltos verticales</b> .....                              | 348 |
| 6.3. VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS.....   | 351 |
| 6.4. MECÁNICA MUSCULO-ARTICULAR. LA RIGIDEZ.....                                  | 354 |
| <b>CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES</b> .....   | 357 |
| <b>CAPÍTULO 8. APLICACIONES PRÁCTICAS y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN</b> ..... | 367 |
| <b>CAPÍTULO 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....                               | 375 |
| <b>CAPÍTULO 10. ANEXOS</b> .....  | 413 |

### ABREVIATURAS UTILIZADAS

Las abreviaturas de los convenios de unidades no se incluyen en esta relación al existir normas internacionalmente aceptadas sobre su uso. Tampoco se han incluido en esta relación las abreviaturas de uso universal en estadística, ni las del diccionario de la RAE.

| <b>Abreviatura</b> | <b>Descripción</b>  |
|--------------------|---|
| <b>1-RM</b>        | Una Repetición Máxima   |
| <b>2D</b>          | Dos Dimensiones   |
| <b>CEA</b>         | Ciclo de Estiramiento Acortamiento                                    |
| <b>CG</b>          | Centro de Gravedad  |
| <b>CMJ</b>         | Salto con Contra-Movimiento ( <i>Counter Movement Jump</i> )          |
| <b>COM</b>         | Centro de Masas ( <i>Center of Mass</i> )                             |
| <b>CSA</b>         | Área de Sección Transversal ( <i>Cross Sectional Area</i> )           |
| <b>DH</b>          | Desplazamiento Horizontal   |
| <b>DJ</b>          | Salto en Caída ( <i>Drop Jump</i> )                                   |
| <b>DLT</b>         | Transformación Lineal Directa ( <i>Direct Linear Transformation</i> ) |
| <b>EMG</b>         | Electromiografía  |
| <b>FC</b>          | Frecuencia Cardíaca   |
| <b>FDM</b>         | Fuerza Dinámica Máxima  |
| <b>FIC</b>         | Fuerza Isocinética Concéntrica  |
| <b>FIM</b>         | Fuerza Isométrica Máxima  |
| <b>FT</b>          | Fibras de Contracción Rápidas ( <i>Fast Twitch</i> )                  |

---

|              |   |
|--------------|---|
| <b>F-V</b>   | Fuerza-Velocidad  |
| <b>GC</b>    | Grupo Control   |
| <b>GE</b>    | Grupo Experimental  |
| <b>GL</b>    | Gastrocnemio Lateral  |
| <b>GM</b>    | Gastrocnemio Medial   |
| <b>GRF</b>   | Fuerzas de Reacción del Suelo ( <i>Ground Reaction Forces</i> ) |
| <b>IAAF</b>  | Federación Internacional de Atletismo Amateur                   |
| <b>IBV</b>   | Instituto de Biomecánica de Valencia                            |
| <b>IMC</b>   | Índice de Masa Corporal   |
| <b>INDEX</b> | Índice  |
| <b>K</b>     | Rigidez   |
| <b>m.l.</b>  | Metros Lisos  |
| <b>MAX</b>   | Máximo/a  |
| <b>MG</b>    | Masa Grasa  |
| <b>MM</b>    | Masa Muscular   |
| <b>MO</b>    | Masa Ósea   |
| <b>PC</b>    | Peso Corporal   |
| <b>POMS</b>  | Perfil de Estado de Ánimo ( <i>Profile of Mood States</i> )     |
| <b>POW</b>   | Potencia ( <i>Power</i> )                                       |
| <b>P-V</b>   | Potencia-Velocidad  |
| <b>ROM</b>   | Rango de Movimiento ( <i>Range of Movement</i> )                |
| <b>SJ</b>    | Salto en Sentadilla ( <i>Squat Jump</i> )                       |
| <b>SJM</b>   | Salto en Sentadilla Modificado ( <i>Squat Jump Modified</i> )   |

---

|                         |   |
|-------------------------|---|
| <b>SL</b>               | Amplitud de Zancada ( <i>Stride Length</i> )    |
| <b>SR</b>               | Frecuencia de Zancada ( <i>Stride Rate</i> )    |
| <b>T<sub>down</sub></b> | Instante de Aterrizaje ( <i>Touch Down</i> )    |
| <b>T<sub>mid</sub></b>  | Instante de Apoyo Medio ( <i>Touch Middle</i> ) |
| <b>T<sub>off</sub></b>  | Instante de Despegue                            |
| <b>VH</b>               | Velocidad Horizontal                            |
| <b>VL</b>               | Vasto Lateral                                   |
| <b>Vs.</b>              | Versus  |

---



## GLOSARIO

En este apartado se van a explicar conceptos que pueden ser entendidos de forma diferente dependiendo del contexto o del autor que los explique, con el objetivo de mejorar la comprensión del texto:

- **Atleta de nivel internacional:** atletas que participan en campeonatos oficiales internacionales (IAAF) en los que se requiere una marca mínima para su asistencia (Campeonatos Continentales, Mundiales, Juegos Olímpicos, etc.).

- **Atleta de nivel nacional:** atletas que participan en campeonatos oficiales nacionales de la Real Federación Española de Atletismo (RFEA) en los que se requiere una marca mínima para su asistencia (Campeonatos Nacionales, etc.).

- **Atleta de nivel regional:** atleta que participa en campeonatos oficiales regionales sin que se requiera una marca mínima para su asistencia.

- **Ciclo:** periodo de tiempo desde que ocurre una acción, hasta que la misma acción se vuelve a repetir (1, 2). En las carreras, en general, se suele tomar como inicio del despegue del pie derecho, y termina, aproximadamente, cuando el pie derecho deja el suelo de nuevo.

- **Fuerza Dinámica Máxima:** es la máxima fuerza que un sujeto puede producir en una repetición completa (fase excéntrica y concéntrica) única. Se suele representar como 1-RM.

- **Medios de entrenamiento:** los medios de entrenamiento incluyen todos los instrumentos y medidas útiles para desarrollar el programa de entrenamiento. Distinguimos entre medios de entrenamiento de tipo organizativo, material e informativos (verbales, visuales, cinestésicos). Los medios de entrenamiento se utilizan siempre en función de los contenidos, permitiendo la puesta en práctica de éstos.

- **Métodos de entrenamiento:** los métodos de entrenamiento son procedimientos sistemáticos, desarrollados en la práctica deportiva para alcanzar los objetivos planteados.

- **Zancada:** el ciclo de carrera se suele dividir en dos unidades similares de movimiento llamadas zancadas. Una zancada (a veces también llamado paso) puede ser definida como el intervalo de tiempo desde el despegue de un pie hasta el despegue del otro pie (1). Se suele definir como la unidad básica de la carrera, pues la carrera es, básicamente, una repetición de estas unidades de movimiento (1).

## ÍNDICE DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Ejemplo de curva típica de velocidad en 100 metros lisos (m.l.) (98). .....   | 61 |
| <b>Figura 2.</b> Sub-fases de la zancada. Apoyo del pie (5, extremidad sin sombrear); apoyo medio (6, extremidad sin sombrear); despegue (7-8, extremidad sin sombrear); movimiento complementario (2-3, extremidad sombreada); balanceo hacia delante (4-9, extremidad sombreada); descenso del pie (1-4, extremidad sin sombrear). ..... | 65 |
| <b>Figura 3.</b> Modelo mecánico seleccionado de 22 puntos. dr = derecha; C = centro; izq = izquierdo (52).....  | 67 |
| <b>Figura 4.</b> Variables que determinan la amplitud de zancada. Modificado de Hay (5). F = fase. GRF = fuerzas de reacción del suelo (ground reaction forces). .....   | 69 |
| <b>Figura 5.</b> Fases de la zancada según Hay (113). Takeoff distance = <i>distancia de despegue</i> ; Flight distance = <i>distancia de vuelo</i> ; y Landing distance = <i>distancia de aterrizaje</i> . .....  | 71 |
| <b>Figura 6.</b> Evolución de la amplitud de zancada en función del nivel de los velocistas durante una carrera de 100 m.l. V+ = velocistas más rápidos; V- = velocistas más lentos. Modificado (100). .....   | 73 |
| <b>Figura 7.</b> Variables que determinan la frecuencia de zancada. Modificado de Hay (5). F = fase. GRF = fuerzas de reacción del suelo (ground reaction forces). .....   | 84 |
| <b>Figura 8.</b> Longitud (SL) y frecuencia (SR) de zancada a distintas velocidades de carrera (11).....   | 85 |
| <b>Figura 9.</b> Derivación de la ecuación que relaciona la velocidad horizontal con la amplitud y la frecuencia de zancada (1, 18-20). .....  | 88 |
| <b>Figura 10.</b> Posición del cuerpo en el impacto (Touchdown) y en el despegue (Takeoff) tanto en la fase de aceleración (short sprints) como de máxima  |    |

|  |     |
|--|-----|
| velocidad (maximum speed) (43). .....  | 99  |
| <b>Figura 11.</b> Relación entre la fuerza-velocidad (círculos) y la fuerza-potencia (triángulos) en 10 saltadores de longitud y altura entrenados (168).....  | 103 |
| <b>Figura 12.</b> Fuerzas externas que influyen en el rendimiento de la velocidad. BW = peso corporal; Wind resistance = resistencia del viento; GRF = fuerzas de reacción del suelo (169). .....  | 104 |
| <b>Figura 13.</b> Grupos musculares implicados en la fase de apoyo (a = instante anterior al apoyo; b) instante de apoyo medio; y c) instante previo al despegue) del sprint a máxima velocidad (221). Modificado. ....  | 120 |
| <b>Figura 14.</b> Componentes que inciden en el rendimiento del sprint (91). En <i>cursiva</i> aquellos factores no entrenables. ....  | 126 |
| <b>Figura 15.</b> Valores de fuerza, velocidad y potencia pico, así como la altura de salto al realizar un CMJ sin carga (CBW), con una sobre-carga de 20 kg (C20) y con una sobre-carga de 40 kg (C40), en un grupo de power-lifters, olympic-lifters, velocistas (sprinters) y un grupo control (246). Tomado sin modificaciones. .... | 133 |
| <b>Figura 16.</b> Comparación de a) un sprint sin carga con sprints al utilizar tres tipos de dispositivos de entrenamiento resistido; b) trineo; c) paracaídas de velocidad; y d) cinturón lastrado. Las flechas muestran la dirección de la fuerza aplicada al atleta por el dispositivo usado (52). ....                              | 155 |
| <b>Figura 17.</b> Sprint sobre la arena de la playa. ....  | 176 |
| <b>Figura 18.</b> Representación gráfica de la distancia de aterrizaje, despegue, así como de los instantes de contacto (Tdown), apoyo medio (Tmid) y de despegue (Toff). ....   | 218 |
| <b>Figura 20.</b> Ángulo del hombro. ....  | 220 |
| <b>Figura 21.</b> Ángulo del codo. ....  | 228 |

---

|   |     |
|---|-----|
| <b>Figura 22.</b> Ángulo de la cadera. ....   | 221 |
| <b>Figura 23.</b> Ángulo de la rodilla. ....  | 222 |
| <b>Figura 24.</b> Ángulo del tobillo. ....  | 222 |
| <b>Figura 25.</b> Ángulo de posición del brazo. ....  | 223 |
| <b>Figura 26.</b> Ángulo de posición del antebrazo. ....  | 224 |
| <b>Figura 27.</b> Ángulo de posición del tronco. ....   | 225 |
| <b>Figura 28.</b> Ángulo de posición del muslo. ....  | 225 |
| <b>Figura 29.</b> Ángulo de posición de la pierna. ....   | 226 |
| <b>Figura 30.</b> Ángulo de posición del pie. ....  | 227 |
| <b>Figura 19.</b> Determinación de los primeros instantes de despegue y contacto en la fase de aceleración. ....  | 218 |
| <b>Figura 31.</b> Definición de ángulos y segmentos (A = antebrazo; E = codo; B = brazo; H = hombro; T = tronco; C = cadera; M = muslo; R = rodilla; P = pierna; TO = tobillo; y PI = pie). ....  | 228 |
| <b>Figura 32.</b> Modelación matemática de la rigidez vertical del atleta (a) y la fuerza pico durante la fase de apoyo (b) para la carrera de velocidad propuesta por Morin et al. (318).....  | 236 |
| <b>Figura 33.</b> Modelación matemática del desplazamiento total del COM en el instante $T_{mid}$ (a), de la rigidez articular de la extremidad inferior (b), y del desplazamiento pico de la extremidad inferior durante la fase de apoyo para la carrera propuesta por Morin et al. (318). .... | 237 |
| <b>Figura 34.</b> Organización temporal del estudio. Estand. = semanas de entrenamiento de estandarización; Pre-test = semana de test iniciales; Experi. = semanas de entrenamiento principal; Post-test = semana de test finales. Total = 9 semanas de estudio. ....                             | 241 |

- Figura 35.** Tiempos (s) en las diferentes fases del sprint en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). T = tiempo; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....253
- Figura 36.** Velocidad máxima instantánea ( $m \cdot s^{-1}$ ) y velocidades medias ( $m \cdot s^{-1}$ ) en las diferentes fases del sprint en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). V = velocidad;  $V_{max}$  = velocidad máxima; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....255
- Figura 37.** Tiempos (s) en las diferentes fases del sprint al arrastrar un trineo de 4.7 kg en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC).  $T_a$  = tiempo arrastres; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....257
- Figura 38.** Velocidad máxima instantánea ( $m \cdot s^{-1}$ ) y velocidades medias ( $m \cdot s^{-1}$ ) en las diferentes fases del sprint en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) al arrastrar un trineo de 4.7 kg.  $V_a$  = velocidad media al arrastrar un trineo de 4.7 kg;  $V_{a\ max}$  = velocidad máxima instantánea al arrastrar un trineo de 4.7 kg; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ...259
- Figura 39.** Frecuencia de zancada (Hz) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.070$ ). ....260
- Figura 40.** Tiempos de contacto (ms) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.088$ ).  
.....262
- Figura 41.** Inclinación de tronco ( $^\circ$ ) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). ....263

- Figura 42.** Evolución de la inclinación del tronco en los 3 primeros apoyos tras una salida de tacos en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). .....264
- Figura 43.** Ángulo ( $^{\circ}$ ) de la articulación de la rodilla de la extremidad de apoyo en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). .....265
- Figura 44.** Velocidad angular ( $^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) de la articulación de la rodilla de la extremidad libre ( $^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). .....268
- Figura 45.** a) Amplitud de zancada (cm) y b) tiempo de contacto (s) en la fase de máxima velocidad (45 m) en el pre y post-test para el grupo experimental (GE) y para el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). \* = diferencias estadísticamente significativas en las variaciones entre el pre y el post-test de los grupos. ....273
- Figura 46.** Configuración de las articulaciones y segmentos del tren inferior y tronco en el pre (líneas discontinuas) y el post-test (líneas continuas) tanto para el grupo experimental (a) como para el grupo control (b) en los tres instantes de la carrera en la fase de máxima velocidad. ....275
- Figura 47.** Ángulo del muslo ( $^{\circ}$ ) de la extremidad de apoyo en Tdown en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....277
- Figura 48.** Velocidad angular ( $^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) de la articulación de la cadera de la extremidad libre en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante Tdown. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....279
- Figura 49.** Inclinación del tronco ( $^{\circ}$ ) en el grupo experimental (GE) y en el grupo

- control (GC) en el instante Tmid. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....281
- Figura 50.** Ángulo ( $^{\circ}$ ) de la articulación de la rodilla de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante Tmid. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....283
- Figura 51.** Ángulo ( $^{\circ}$ ) del segmento pierna de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante Tmid. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....285
- Figura 52.** Velocidad angular ( $^{\circ}$ -s-1) del tobillo de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante Tmid. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....287
- Figura 53.** Ángulo ( $^{\circ}$ ) del tobillo de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante Toff. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....289
- Figura 54.** Ángulo ( $^{\circ}$ ) del pie de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante Toff. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....291
- Figura 55.** Velocidad angular ( $^{\circ}$ -s-1) de la cadera de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante Toff. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ...293
- Figura 56.** Curva potencia-fuerza para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....295
- Figura 57.** Curva torque-velocidad de los flexores de la cadera relativo al peso corporal (PC) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y

|  |     |
|--|-----|
| post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....   | 298 |
| <b>Figura 58.</b> Curva torque-velocidad de los extensores de la cadera relativo al peso corporal (PC) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. ....   | 299 |
| <b>Figura 59.</b> a) Fuerza máxima aplicada en los 100 ms (N) y b) potencia pico del SJM (W) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test; * = diferencias estadísticamente significativas en las variaciones entre el pre y el post-test de los grupos. ....  | 303 |
| <b>Figura 60.</b> Rigidez vertical ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ ) en la carrera a máxima velocidad para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.081$ ). ....   | 305 |
| <b>Figura 61.</b> Perímetro del muslo (cm) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. ....  | 307 |
| <b>Figura 62.</b> Comparación de tres condiciones de entrenamiento con sprints y la hipotética relación en la curva fuerza-velocidad de los mismos. Los tres círculos representan de izquierda a derecha, sprints resistidos, normales y asistidos. Las velocidades ( <i>running velocity</i> ) de los tres métodos se han obtenido de los valores medios observados en el estudio; la fuerza ( <i>total propulsion force</i> ) y la potencia ( <i>external power</i> ) se han tomado de curvas hipotéticas (16). .... | 333 |



## ÍNDICE DE TABLAS

|   |     |
|---|-----|
| <b>Tabla 1.</b> Métodos, medios y material necesario para el entrenamiento de la velocidad y fuerza específica (3, 9, 19, 25, 26, 30-40) .....                          | 51  |
| <b>Tabla 2.</b> Índices de relación entre la zancada (máxima y media) y distintas medidas antropométricas en velocistas de nivel (109, 110).....                        | 72  |
| <b>Tabla 3.</b> Variables de la zancada en la fase de aceleración (0-10 m) en atletas masculinos de nivel internacional y nacional. ....                                | 92  |
| <b>Tabla 4.</b> Variables de la zancada determinantes para la fase de máxima velocidad en atletas masculinos. ....  | 93  |
| <b>Tabla 5.</b> Máxima velocidad horizontal y vertical del COM en la fase de máxima velocidad en atletas masculinos. ....   | 94  |
| <b>Tabla 6.</b> Resumen de ángulos en las articulaciones y segmentos de la pierna de apoyo en distintos instantes de la fase de aceleración y de máxima velocidad. .... | 98  |
| <b>Tabla 7.</b> Clasificación de los ejercicios según diferentes autores .....  | 123 |
| <b>Tabla 8.</b> Componentes de la carga de entrenamiento (224). ....  | 124 |
| <b>Tabla 9.</b> Altura del COM en saltos verticales al realizar un SJ y CMJ en distintos tipos de población (53, 260, 277-279). ....                                    | 137 |
| <b>Tabla 10.</b> Ejemplos de métodos para el entrenamiento del sprint (3, 9, 19, 25, 26, 30-40). ....   | 143 |
| <b>Tabla 11.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para ejercicios de técnica de carrera (30, 31, 224). ....  | 147 |
| <b>Tabla 12.</b> Velocidad media y variables de zancada por secciones de 10 m en una prueba de 100 m.l. en dos finalistas mundiales (98). ....                          | 148 |
| <b>Tabla 13.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para ejercicios de amplitud de zancada (30, 31, 224). ....   | 149 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 14.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para ejercicios de frecuencia de zancada (30, 31, 224). .....   | 150 |
| <b>Tabla 15.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para los ejercicios variando las distancias y las intensidades (30, 31, 224). .....                                   | 153 |
| <b>Tabla 16.</b> Carga (kg) requerida en arrastre de trineo en el entrenamiento de la fase de aceleración dependiendo de la masa corporal individual (49, 54). .....   | 165 |
| <b>Tabla 17.</b> Carga (kg) requerida en arrastre de trineo en el entrenamiento de la fase de máxima velocidad dependiendo de la masa corporal individual (294). ..... | 167 |
| <b>Tabla 18.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para los arrastres de trineo (30, 31, 224). .....   | 168 |
| <b>Tabla 19.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para los paracaídas de velocidad (30, 31, 224). .....   | 171 |
| <b>Tabla 20.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para los chalecos y cinturones lastrados (30, 31, 224). .....   | 175 |
| <b>Tabla 21.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para los sprints sobre la arena de la playa (30, 31, 224). .....  | 178 |
| <b>Tabla 22.</b> Cuadro resumen de entrenamiento para los sprints asistidos (30, 31, 224). .....   | 181 |
| <b>Tabla 23.</b> Cuadro resumen para el entrenamiento en salas de musculación (307). ....  | 185 |
| <b>Tabla 24.</b> Características generales de los grupos de entrenamiento. ....  | 207 |
| <b>Tabla 25.</b> Tiempos en las diferentes fases del sprint. ....  | 252 |
| <b>Tabla 26.</b> Velocidad instantánea máxima de carrera y velocidades medias en las diferentes fases del sprint. ....   | 254 |
| <b>Tabla 27.</b> Tiempos en las diferentes fases del sprint y velocidad máxima de carrera al arrastrar un trineo de 4.7 kg. ....                                       | 256 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 28.</b> Velocidad instantánea máxima de carrera y velocidades medias en las diferentes fases del sprint al arrastrar un trineo de 4.7 kg. ....                    | 258 |
| <b>Tabla 29.</b> Amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje, y tiempo de contacto, tomado entre el apoyo 2° y el 3° en la fase de aceleración inicial. .... | 260 |
| <b>Tabla 30.</b> Amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje, y tiempo de contacto, tomado entre el apoyo 3° y el 4° en la fase de aceleración inicial. .... | 261 |
| <b>Tabla 31.</b> Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial. ....   | 262 |
| <b>Tabla 32.</b> Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial. ....   | 265 |
| <b>Tabla 33.</b> Ángulos de los segmentos del tren inferior en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial. ....  | 266 |
| <b>Tabla 34.</b> Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial. ....   | 267 |
| <b>Tabla 35.</b> Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial. ....  | 269 |
| <b>Tabla 36.</b> Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial. ....  | 270 |
| <b>Tabla 37.</b> Ángulos de los segmentos del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial. ....   | 270 |
| <b>Tabla 38.</b> Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial. ....  | 271 |
| <b>Tabla 39.</b> Amplitud y frecuencia de zancada, distancia de apoyo y tiempo de contacto en la fase de máxima velocidad (45 m). ....                                     | 272 |
| <b>Tabla 40.</b> Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el instante  |     |

|  |     |
|--|-----|
| Tdown de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....   | 274 |
| <b>Tabla 41.</b> Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el instante Tdown de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                     | 274 |
| <b>Tabla 42.</b> Ángulos de los segmentos del tren inferior en el instante Tdown de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                          | 276 |
| <b>Tabla 43.</b> Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el instante Tdown de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....           | 278 |
| <b>Tabla 44.</b> Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el instante Tmid de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                  | 280 |
| <b>Tabla 45.</b> Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el instante Tmid de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                      | 282 |
| <b>Tabla 46.</b> Ángulos de los segmentos del tren inferior en el instante Tmid de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                           | 284 |
| <b>Tabla 47.</b> Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el instante Tmid de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....            | 286 |
| <b>Tabla 48.</b> Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el instante Toff de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                  | 288 |
| <b>Tabla 49.</b> Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el instante Toff de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                      | 288 |
| <b>Tabla 50.</b> Ángulos de los segmentos del tren inferior en el instante Toff de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....                           | 290 |
| <b>Tabla 51.</b> Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el instante Toff de la zancada, en la fase de máxima velocidad.....            | 292 |
| <b>Tabla 52.</b> Fuerza dinámica máxima y potencia mecánica desarrollada en la fase concéntrica en media sentadilla al 30%, 45%, 60%, 70% y 80% de 1-RM..... | 294 |

---

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabla 53.</b> Torque pico de los flexores de cadera a las velocidades de 60°· s-1, 180°· s-1, 270°· s-1 y 450°· s-1 en el pre y post-test. ....   | 296 |
| <b>Tabla 54.</b> Torque pico de los extensores de cadera a las velocidades de 60°· s-1, 180°· s-1, 270°· s-1 y 450°· s-1 en el pre y post-test. ....   | 296 |
| <b>Tabla 55.</b> Torque pico relativo al peso corporal de los flexores de cadera a las velocidades de 60°· s-1, 180°· s-1, 270°· s-1 y 450°· s-1 en el pre y post-test. ....   | 297 |
| <b>Tabla 56.</b> Torque pico relativo al peso corporal de los extensores de cadera a las velocidades de 60°·s-1, 180°·s-1, 270°·s-1 y 450°· s-1 en el pre y post-test. ....  | 299 |
| <b>Tabla 57.</b> Rendimiento (altura) en el SJ, SJM, CMJ, DJ e índice de elasticidad en el pre y el post-test. ....  | 300 |
| <b>Tabla 58.</b> Rendimiento (altura) en el SJ, SJM, CMJ y DJ, relativo al peso corporal en el pre y el post-test. ....  | 301 |
| <b>Tabla 59.</b> Potencia del SJ, SJM, CMJ, ratio entre la altura del DJ y el tiempo de contacto del salto, fuerza máxima aplicada en los 100 ms del SJM, así como la fuerza máxima de reacción con el suelo modelada en la fase de máxima velocidad de la carrera en el pre y post-test. .... | 301 |
| <b>Tabla 60.</b> Potencia del SJ, SJM, CMJ, la fuerza pico aplicada a los 100 ms desde el comienzo de un SJM, todo ello relativo al peso corporal; y las variables mecánicas de rigidez de la extremidad y vertical en el pre y post-test. ....  | 304 |
| <b>Tabla 61.</b> Peso corporal, pliegue del muslo, pliegue de la pierna, perímetro del muslo y perímetro de la pierna en el pre-test y post-test. ....   | 306 |
| <b>Tabla 62.</b> Masa grasa, masa magra, endomorfia, mesomorfia y ectomorfia en el pre-test y post-test. ....  | 307 |





---

# 1. INTRODUCCIÓN



## INTRODUCCIÓN

Esprintar es la habilidad de correr a máxima velocidad o cerca de la máxima velocidad durante cortos periodos de tiempo (3). Ésta es una cualidad importante en el rendimiento humano, prueba de ello es su manifestación en un gran número de deportes, tanto de equipo como individuales (4-6). En atletismo, existen distintas modalidades de velocidad que oscilan entre los 60 y 400 m, sin embargo, es la prueba de 100 metros lisos (m.l.) la que representa de forma más clara las características de la velocidad. Por ejemplo, en los 100 m.l. se parte de una posición estática y agachada, con el fin de conseguir la máxima velocidad en el menor tiempo posible. Así, desde un punto de vista biomecánico, las carreras de velocidad tienen tres fases marcadamente diferenciadas (7): fase de aceleración, fase de máxima velocidad y fase de deceleración.

El rendimiento en los deportistas de élite es el resultado directo de una serie de múltiples factores complejos, como son: el componente genético, el entrenamiento realizado, el estado de salud y una buena integración de diferentes componentes fisiológicos, biomecánicos y psicológicos relacionados con el deporte practicado (8). En los sprints el componente biomecánico (9-11), por un lado, y el entrenamiento realizado (12-17), por otro, se han mostrado como algunos de los aspectos que más influyen sobre el rendimiento de estas pruebas. En esta línea, y dentro de los componentes biomecánicos, la cinemática, la

producción de fuerza, y los grupos musculares implicados en la ejecución son los determinantes para el resultado final de los deportistas (9).

La velocidad, en el sprint, desde una perspectiva cinemática, se puede determinar por el producto de la amplitud por la frecuencia de zancada (1, 18-20). De esta forma, un incremento en un factor, sin una disminución del otro, resultará en una mejora del rendimiento. Hay que resaltar que la velocidad máxima de carrera es el factor más determinante para conseguir un mejor resultado en una prueba como los 100 m.l. (21).

Con respecto a la producción de fuerza, distintos estudios han mostrado la importancia de un desarrollo de la fuerza dinámica máxima (FDM) tanto para la fase de aceleración como para la fase de máxima velocidad (9, 22). Sin embargo, los velocistas tienen muy poco tiempo para aplicar fuerza, debido al escaso tiempo de contacto con el suelo. Este límite, en el tiempo de apoyo, hace que el desarrollo de la fuerza específica, con un tiempo específico de aplicación, sea determinante en estas pruebas (23). Por ejemplo, Mann y Hermann (21) mostraron que los atletas de élite pueden transmitir por encima de 220 kg de fuerza al suelo en ~ 100 ms (tiempo de contacto) al correr en la fase de máxima velocidad.

De estas afirmaciones se deduce que el entrenamiento de FDM con pesos libres y con máquinas puede mejorar la fuerza de los grupos musculares que

intervienen en el sprint, y de esta forma puede aumentar el rendimiento, tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad. No obstante, aunque la FDM es un parámetro importante en el rendimiento del sprint, la relación entre la fuerza y la velocidad (potencia) es un factor más determinante (24).

En atletismo, gran parte de los programas de entrenamiento para la mejora del sprint incluyen, además de entrenamiento con sobrecargas, programas de entrenamiento específico de fuerza, en los que el atleta imita el gesto técnico con una resistencia añadida (entrenamiento resistido) (25-28) (Tabla 1). Para que se produzca el *principio de especificidad* un ejercicio debe imitar o replicar los rangos de movimiento, la posición del cuerpo y los tipos de activación muscular (patrones de movimiento) y/o reproducir la velocidad del movimiento de competición (29).

**Tabla 1.** Métodos, medios y material necesario para el entrenamiento de la velocidad y fuerza específica (3, 9, 19, 25, 26, 30-40).

| Método                            | Medio (ejercicios)   | Instalación/material  |
|-----------------------------------|--|---|
| <b>Desarrollo de la velocidad</b> | Progresivos<br>"Ins and outs"                                | Pista tartán/medio natural<br>Conos<br>Zapatillas de clavos                         |
|                                   | Entrenamiento asistido                                       | Cuestas abajo/viento favor<br>Escaleras agilidad<br>Gomas (ej. catapulta velocidad) |
| <b>Desarrollo de la fuerza</b>    | Autocargas   |   |
|                                   | Entrenamiento de musculación                                 | Halteras/discos/máquinas  |
|                                   | Entrenamiento resistido                                      | Trineos/paracaídas/lastres/cuestas arriba/playa/gomas/viento contra                 |
|                                   | Pliometría (SJ, CMJ, DJ)<br>Multilanzamientos<br>Multisaltos | Cajones<br>Balones medicinales<br>Vallas/vallines/foso saltos                       |

---

|                                 |                    |   |
|---------------------------------|--------------------|---|
| <b>Desarrollo de la técnica</b> | Técnica de carrera | Tacos   |
|                                 | Fotogrametría      | Vallas/vallines/señales/escaleras para aceleración<br>Cámara de fotos/video |

---

Para la mejora de la velocidad, el entrenamiento resistido incluye arrastre de trineos o ruedas, arrastre de paracaídas, lastre de chalecos o cinturones, carreras sobre la arena de la playa y carreras cuesta arriba (37, 39, 41-43). Con el fin de conseguir la mayor especificidad, la cinemática del atleta debe permanecer similar a la cinemática de la carrera sin carga.

Los ejercicios de entrenamiento resistido ayudan a mejorar el rendimiento del atleta gracias a una sobrecarga en los músculos utilizados en los sprints. El principal efecto de los métodos resistidos sobre el rendimiento parece estar en la mejora de la fuerza-velocidad y de la amplitud de zancada (44). Quizás, debido a una mayor activación neural y un mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (41, 45). Los métodos resistidos, además, parecen mejorar la habilidad del atleta para generar una mayor fuerza horizontal, vertical, o ambas, dependiendo de la dirección de la aplicación de la carga sobre el ejercicio (46).

Esta creencia hace que el uso de métodos de entrenamiento resistido sea común tanto en atletismo, como en la mayoría de deportes en los que la velocidad es determinante (47). Sin embargo, existen muy pocos estudios experimentales que expliquen los beneficios y adaptaciones de estos métodos sobre deportistas entrenados, así como la carga óptima para su uso.

Algunos trabajos han estudiado los efectos sobre las variables cinemáticas producidas con los arrastres de trineo durante la fase de aceleración (48-50). Dichos estudios encontraron que al utilizar arrastres de trineo se reduce la velocidad del atleta, la amplitud y frecuencia de zancada, se incrementan los tiempos de contacto, la inclinación del tronco y se producen algunos cambios en la configuración del tren inferior del atleta, durante la fase de contacto. La magnitud de los efectos depende del peso añadido al trineo, y las recomendaciones propuestas por los autores fueron que los arrastres de trineo son aconsejables siempre que se utilice una carga que no modifique significativamente la técnica del atleta.

El rendimiento en la aceleración y en la máxima velocidad está determinado por factores biomecánicos diferentes. Young et al. (43) presentaron un resumen conciso en el que se remarcaba los diferentes grupos musculares usados, los tipos de manifestaciones de la fuerza requeridas, así como las diferencias en la mecánica de la carrera, tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad. En este sentido, se han estudiado, además, los efectos a nivel cinemático que se producen con arrastres de trineo, paracaídas de velocidad, cinturón lastrado, y carreras sobre la arena de la playa con y sin calzado (51, 52), en la fase de máxima velocidad. Las modificaciones a nivel cinemático producidas son similares a las encontradas en la fase de aceleración.

En el ámbito del entrenamiento no se han encontrado estudios que muestren las adaptaciones a corto y medio plazo con la utilización de los métodos resistidos. En la bibliografía consultada sólo se ha encontrado un trabajo (12) que se haya centrado en el estudio de los efectos que se producen con la utilización de arrastres de trineo en el entrenamiento a corto plazo (siete semanas) en la fase de aceleración y de máxima velocidad, en estudiantes de educación física. En este estudio se llegó a la conclusión de que el entrenamiento con arrastres de trineo de 5 kg, mejora el rendimiento en la fase de aceleración (0-20 m), mientras que el entrenamiento sin cargas mejora el rendimiento en la fase de máxima velocidad (20-40 m). Sin embargo, si se tiene en cuenta que las adaptaciones a nivel neuromuscular pueden ser diferentes cuando se utilizan sujetos poco entrenados con respecto a deportistas experimentados (53), se puede afirmar que los resultados no son aplicables a este tipo de atletas.

Existen otros estudios que han mostrado los efectos del entrenamiento resistido, pero únicamente sobre la fase de aceleración. En el estudio de Kristensen, van den Tillar y Ettema (16), con estudiantes de E.F. los resultados encontrados fueron contradictorios a los mostrados por Zafeiridis et al. (12). El grupo de entrenamiento resistido no mejoró la velocidad de carrera sobre 20 m, incluso empeoró de forma no significativa. Este grupo realizó un entrenamiento de seis semanas, tres sesiones por semana, con una resistencia horizontal (a través de poleas) que producía una disminución en el tiempo de carrera del 8.5%. De

nuevo, una de las limitaciones que presentan los autores es que este estudio no se realizó con velocistas experimentados.

Spinks, Murphy, Spinks y Lokie (54) realizaron un trabajo con deportistas de nivel (fútbol, rugby y fútbol australiano) donde se estudiaron los efectos del entrenamiento resistido sobre el rendimiento en la fase de aceleración (0-15 m), la producción de fuerza específica y la cinemática. Los autores indican que un programa de ocho semanas de entrenamiento resistido: a) mejora significativamente el rendimiento en la fase de aceleración y la potencia de la extremidad inferior, sin embargo no es más efectivo que un entrenamiento de velocidad no resistido; b) mejora de forma significativa la fuerza reactiva; y c) ofrece un impacto mínimo sobre la cinemática del tren inferior y superior en la fase de aceleración (dos primeras zancadas) al compararlo a un entrenamiento de velocidad no resistido. Estos hallazgos sugieren que el entrenamiento resistido no afecta de forma negativa la cinemática del sprint y que el entrenamiento resistido no es más efectivo que el no resistido (54).

Los estudios revisados muestran que existe un vacío en el conocimiento de las adaptaciones que se producen sobre los factores de rendimiento (cinemáticos, producción de fuerza, etc.) cuando se utilizan los distintos métodos resistidos descritos en la bibliografía en atletas entrenados, tanto en la fase de aceleración como de máxima velocidad. El objetivo del presente estudio fue el de estudiar los efectos que producen el entrenamiento con arrastres de trineo durante cuatro

semanas, sobre el rendimiento en el sprint (15, 30 y 50 m), la cinemática (amplitud, frecuencia, distancia de aterrizaje, tiempo de contacto, desplazamientos y velocidades lineales y angulares de los segmentos y las articulaciones), la producción de fuerza (curva de fuerza-velocidad, FDM, fuerza isocinética máxima), rendimiento en saltos verticales, y algunas variables relacionadas (fuerza, potencia, etc.), composición corporal y somatotipo, y la rigidez del tren inferior (total y vertical), todo ello en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad.

**inef** Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte  
Universidad Politécnica de Madrid

[Información General](#) | [Estudios](#) | [Profesores](#) | [Estudiantes](#) | [Relaciones Externas](#) | [Biblioteca](#) | [Pruebas de Acceso](#) | [Actividades](#)

Inicio > Biblioteca

- Información General
- Presentación
- Personal
- Horario
- Reglamento
- Fondos Bibliográficos
- Revistas
- Catálogo
- Busquedas

BIBLIOTECA

## 2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA



## REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. INTRODUCCIÓN

El rendimiento en los deportistas de élite es el resultado directo de una serie de múltiples factores complejos, como son: el componente genético, el entrenamiento realizado, el estado de salud, y una buena integración de diferentes componentes fisiológicos, biomecánicos y psicológicos relacionados con el deporte practicado (8). En los sprints, el componente biomecánico (9-11), por un lado, y el entrenamiento realizado (12-17), por otro, se han mostrado como algunos de los aspectos que más influyen sobre el rendimiento de estas pruebas.

La literatura existente relativa al análisis de la acción del sprint (6, 21, 55-62), al entrenamiento de la velocidad (12, 16, 54, 63-83), así como los medios y los métodos para mejorar el rendimiento en el sprint (3, 13, 30, 31, 47, 84-97) es muy amplia. Parece claro que, tanto una técnica óptima, como el entrenamiento realizado, pueden influir de forma positiva en el rendimiento final del sprint. Sin embargo, mientras que las variables biomecánicas determinantes en el sprint están bien definidas, los factores de entrenamiento están en constante controversia, principalmente en relación al modo, la intensidad, así como la especificidad de los diferentes programas de entrenamiento. De hecho, el entrenamiento con pesos libres y máquinas, y el entrenamiento resistido en el sprint, son líneas en las que la literatura ha proporcionado mucha discusión,

posiblemente debido a la diversificación en las variables de los programas. El objetivo de la presente revisión bibliográfica no es el de discutir todos los aspectos que pueden influir en el rendimiento de la velocidad, sino el de proporcionar una visión global de las investigaciones más importantes relativas al análisis de la acción del sprint. Esta revisión se centrará en los aspectos biomecánicos, así como en el efecto del entrenamiento con arrastres de trineo sobre esta acción.

## 2.2. ANÁLISIS DE LA ACCIÓN DEL SPRINT

Esprintar es la habilidad de correr a máxima velocidad o cerca de la máxima velocidad durante cortos periodos de tiempo (3). Ross, Laveritt y Riek (91) la definen como una carrera rápida, cíclica, de 15 s o menos de duración y a máxima intensidad. En atletismo, por ejemplo, se denominan como carreras de velocidad a aquellas carreras que no superan los 400 m de distancia con salida de tacos. Los sprints no sólo son importantes en pruebas atléticas, sino también en deportes como el fútbol, el rugby, o el fútbol americano (4-6). Se debe aclarar que la presente revisión se va a centrar en los sprints dentro del atletismo.

Una de las características generales de las pruebas de velocidad atléticas es que se parte de una posición estática y agachada con el fin de conseguir la máxima velocidad en el menor tiempo posible. Este hecho, hace que las carreras de velocidad tengan tres fases bien diferenciadas (7): fase de aceleración, fase de máxima velocidad y fase de deceleración (Figura 1). La curva distancia-velocidad

de una prueba de 100 m.l. muestra un patrón general muy similar para todos los deportistas entrenados. El rendimiento en cada fase es muy específico y está, relativamente, poco correlacionado con el de las otras fases en el sprint (26). Esto es debido a que existen diferencias, no solo en la regulación por parte del movimiento del sistema nervioso sino también en el rol funcional de los músculos implicados.

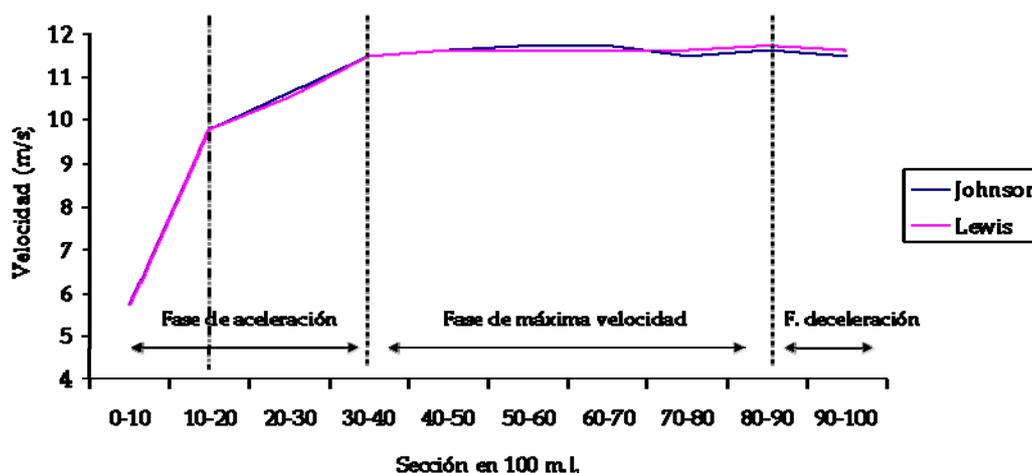


Figura 1. Ejemplo de curva típica de velocidad en 100 metros lisos (m.l.) (98).

### 2.2.1. Fase de aceleración

Se considera como fase de aceleración a aquella en la que se parte de un estado estático hasta que se alcanza la máxima velocidad. La fase de aceleración, a su vez, se podría dividir en dos sub-fases (99, 100) (Figura 1): a) una fase inicial en

la que la aceleración es muy pronunciada, debido a que se parte del estado inmóvil, y b) una fase de aceleración menos pronunciada. Ésta última, se considera como una fase de transición entre la fase de máxima aceleración y la fase de máxima velocidad. La aceleración inicial se produce en los primeros 10-15 m, y continúa de forma más lenta en los siguientes 15-20 m dependiendo del nivel del atleta (99, 101).

### 2.2.2. Fase de máxima velocidad

La segunda fase corresponde a la fase de máxima velocidad. En esta fase el atleta consigue la máxima velocidad y la mantiene en el tiempo (Figura 1). El nivel del atleta condiciona cuando se alcanza la máxima velocidad (102). En atletas de nivel internacional, la máxima velocidad de carrera se consigue en torno a los 50-60 m (100, 103). En atletas de menor nivel, su máxima velocidad la consiguen antes (40 m) (7). En atletas de nivel muy superior (medallistas mundiales) la máxima velocidad se suele alcanzar después (70-80 m) (104).

### 2.2.3. Fase de deceleración

Esta fase comienza en el momento en que la máxima velocidad de carrera empieza a decrecer de forma significativa. Esta fase es la menos estudiada, incluso algunos autores no la consideran como tal. En esta línea, Delecluse et al. (99) han demostrado que la fase de máxima velocidad y la fase de deceleración podrían ser

explicadas por un único componente: la capacidad de alcanzar y mantener una alta velocidad de carrera en la segunda parte de un sprint de 100 m.l.

### 2.3. ANÁLISIS BIOMECÁNICO DE LA ACCIÓN EN LAS DISTINTAS FASES DEL SPRINT

De forma general, la biomecánica del movimiento humano puede ser definida como una inter-disciplina que describe, analiza y evalúa el movimiento humano (105). Específicamente, se considera a la biomecánica del movimiento humano como la ciencia que estudia la mecánica y la biofísica del sistema músculo-esquelético determinante en el rendimiento de cualquier habilidad motriz.

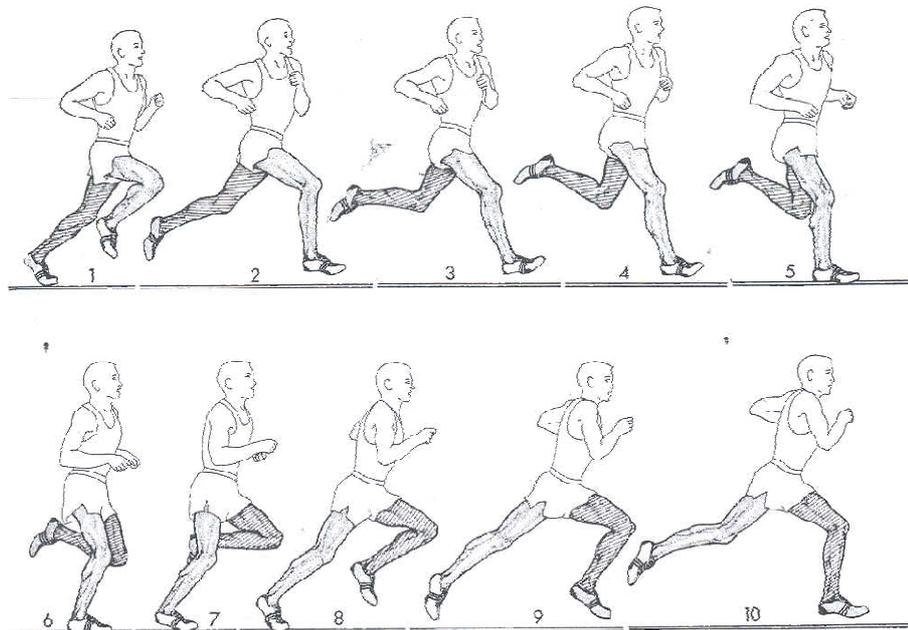
Antes de entrar en todos los aspectos biomecánicos determinantes en la acción del sprint, se incluye un apartado de análisis técnico en el que se definen algunas de las variables más utilizadas por los entrenadores para el control de la acción del sprint como por ejemplo, las fases de la zancada.

#### 2.3.1. **Análisis técnico de la acción de la carrera**

Normalmente, los entrenadores estructuran la acción del sprint en partes más pequeñas, apreciables de forma relativamente “sencilla” con el fin de poder

corregir los posibles errores de la técnica deportiva. Para ello, utilizan la zancada como parte fundamental de este análisis.

La zancada se divide en *fase de apoyo* y *fase de balanceo*, y éstas, a su vez, se dividen en diferentes sub-fases (Figura 2). La *fase de apoyo* se divide en tres sub-fases bien diferenciadas: *apoyo del pie*, que corresponde al periodo de tiempo desde el impacto con el suelo hasta que se produce un acoplamiento completo del peso corporal; *apoyo medio*, que comprende el periodo desde que se produce un acoplamiento completo del peso corporal hasta que comienza la flexión plantar de la articulación del tobillo; y por último, *despegue*, periodo de tiempo desde el comienzo de la flexión plantar del tobillo hasta la máxima extensión del tobillo. La otra fase de la zancada es la *fase de balanceo*, que corresponde a la *fase de vuelo*. Esta fase se divide en tres sub-fases: *fase de movimiento complementario*, la cuál va desde el despegue hasta la máxima extensión de la cadera; *balanceo hacia delante*, esta fase comienza con el inicio de la flexión de la cadera y termina con la máxima flexión de la misma; y *fase de descenso del pie* que termina con el contacto del pie en el suelo (106).



**Figura 2.** Sub-fases de la zancada. Apoyo del pie (5, extremidad sin sombrear); apoyo medio (6, extremidad sin sombrear); despegue (7-8, extremidad sin sombrear); movimiento complementario (2-3, extremidad sombreada); balanceo hacia delante (4-9, extremidad sombreada); descenso del pie (1-4, extremidad sin sombrear).

### 2.3.2. Análisis cuantitativo de la acción del sprint

El principal objetivo de este análisis es proporcionar información cuantitativa que ha sido identificada como relevante para el deporte o movimiento a estudiar (107). Desde un punto de vista cinemático se realizan estudios fotogramétricos a partir de los que se obtienen coordenadas de puntos representativos del movimiento corporal. A partir de estas coordenadas se pueden calcular los desplazamientos lineales y angulares, pudiéndose presentar

en función del tiempo (108). Incluso, con tan solo realizar simples procesamientos de datos adicionales se pueden obtener los desplazamientos del centro de masas (COM). Además, se pueden calcular las velocidades y las aceleraciones a partir de los datos de desplazamiento. Por último, y con el fin de permitir la comparación inter e intra-sujetos, se incluye la identificación de las variables más importantes en instantes destacados del movimiento. Éstos dividen las fases del gesto deportivo, como por el ejemplo el apoyo, despegue, etc. en el sprint (108).

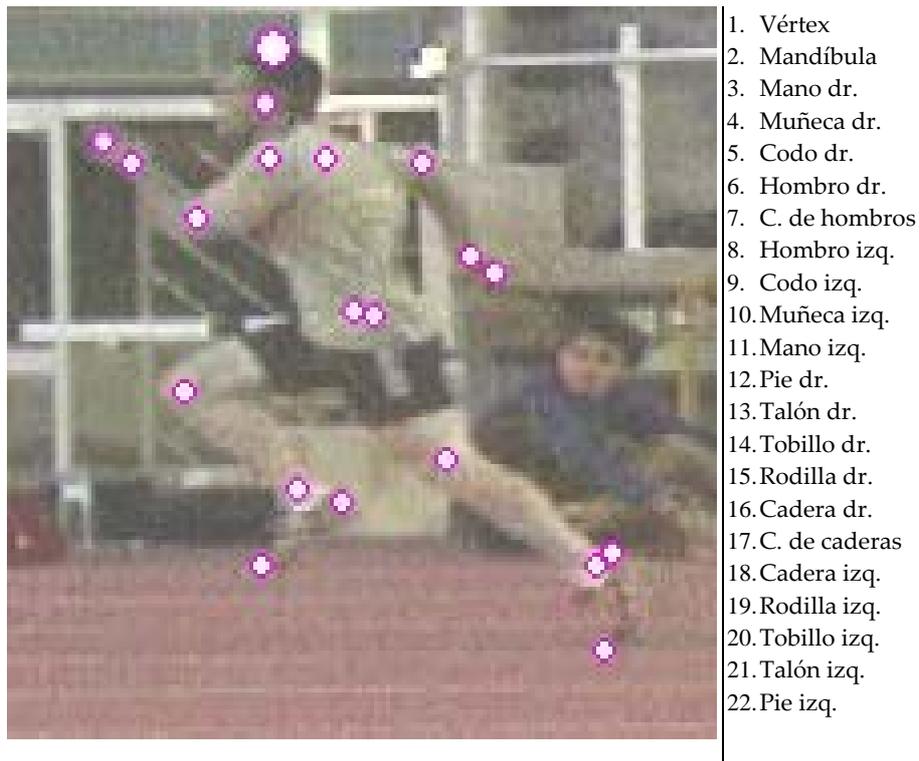
Las variables que se utilizan en la descripción y análisis cuantitativo de cualquier movimiento pueden ser categorizadas en: cinemática, cinética, cineantropometría, mecánica muscular y articular, y grupos musculares implicados (105). A continuación se va a realizar una descripción más detallada de las distintas variables que describen el sprint desde el punto de vista biomecánico.

#### 2.3.2.1. *Variables cinemáticas*

Las variables cinemáticas están implicadas en la descripción del movimiento, independientemente de las fuerzas que lo producen. Éstas incluyen desplazamientos lineales y angulares, variables temporales, velocidades y aceleraciones (105).

##### 2.3.2.1.1. Desplazamientos lineales y angulares

Los datos relativos a los desplazamientos se obtienen a través de la simplificación del cuerpo a un modelo mecánico compuesto por puntos y segmentos. Los puntos se localizan por medio de marcadores externos, centros de rotación de las articulaciones, extremos de los segmentos distales, o prominencias anatómicas claves (Figura 3). La combinación de estas variables proporciona, al enmarcarlas dentro de sistemas de referencias (absolutos o relativos), desplazamientos lineales y angulares. El modelo permite calcular variables de desplazamiento lineal y angular, así como calcular el COM.



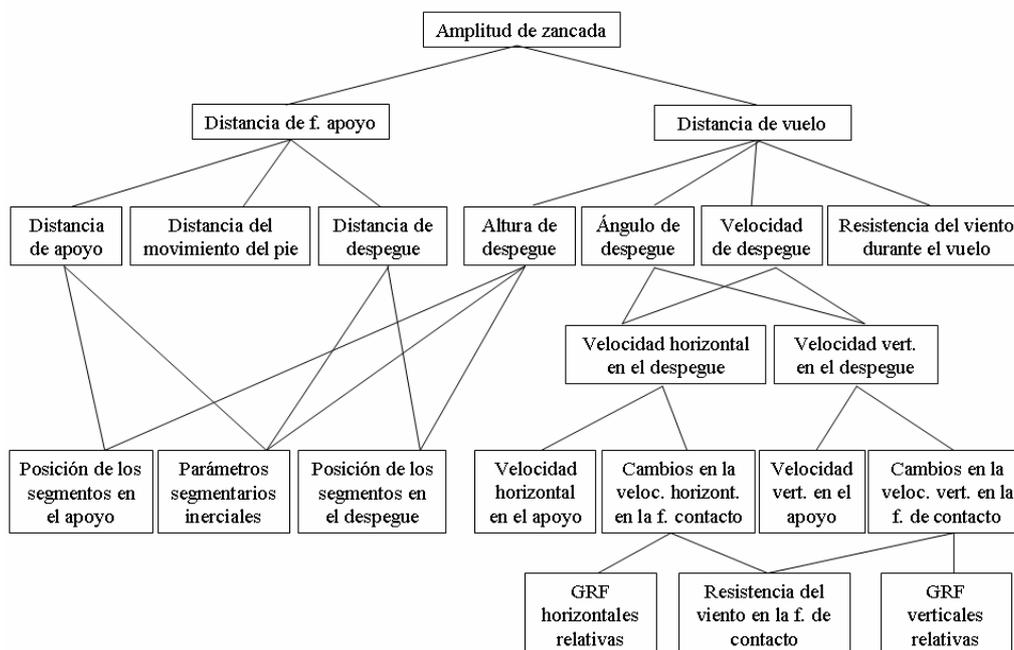
**Figura 3.** Modelo mecánico seleccionado de 22 puntos. dr = derecha; C = centro; izq = izquierdo (52).

a) Desplazamientos lineales

Desplazamiento lineal es el cambio de posición de un cuerpo respecto a un sistema de referencias. Dentro del sprint, se han analizado distintas variables de desplazamientos, tanto lineales como angulares, que van a determinar el rendimiento. La velocidad de carrera es completamente dependiente de la magnitud de la amplitud y de la frecuencia de zancada. De ahí que la variable de desplazamiento lineal más analizada sea la amplitud de zancada, y el resto de variables se estudian en relación a la misma.

Amplitud de zancada

La amplitud de zancada es definida como la distancia desde el contacto de un pie hasta el siguiente contacto del otro pie (1). Está determinada, principalmente, por la longitud del tren inferior (19, 109, 110), por la fuerza producida por los grupos musculares de la extremidad inferior (22, 23), y por la velocidad de carrera (1, 11, 18, 111, 112) (Figura 4).



**Figura 4.** Variables que determinan la amplitud de zancada. Modificado de Hay (5). F = fase. GRF = fuerzas de reacción del suelo (*ground reaction forces*).

Para un estudio más profundo de la zancada, Hay (113) la divide en tres fases diferenciadas (Figura 5):

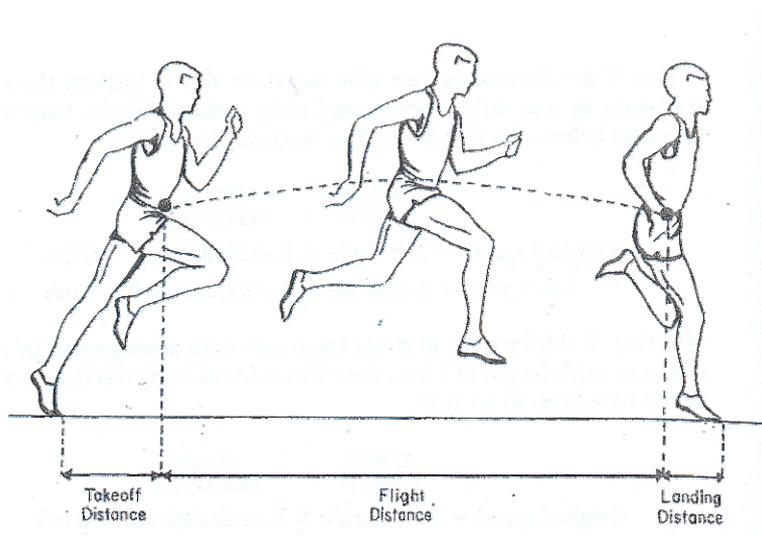
- Distancia de despegue: es la distancia horizontal existente desde el extremo anterior del pie, en el instante previo al despegue, hasta la vertical del COM. Esta distancia depende de factores antropométricos y de la posición del cuerpo en el instante de pérdida de contacto con el suelo (113). Su valor está relacionada con la fase de la carrera en que se encuentre el atleta. En la fase de aceleración la distancia de despegue es mayor, debido a una mayor inclinación

del tronco, mientras que en la fase de máxima velocidad esta distancia se reduce debido a la posición más erecta de los atletas (43, 59).

- Distancia de vuelo: es la distancia horizontal que recorre el COM mientras que el cuerpo del corredor está en el aire. Depende de los factores que determinan las trayectorias de los movimientos parabólicos, principalmente de la velocidad del COM en el despegue. Ésta, a su vez, depende de las fuerzas aplicadas contra el suelo, influenciadas por los correctos momentos angulares de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo (113). Se debe procurar un mantenimiento de la extensión total de la extremidad inferior durante toda la fase de apoyo para que no disminuya el ángulo que determina la fase de vuelo. Para una distancia de vuelo ideal, durante la fase de máxima velocidad, el pie debe contactar con el suelo con una flexión mínima de la rodilla ( $170^\circ$ ), mientras que el ángulo del tobillo debe ser de  $110^\circ$  (114). También influirá la altura del COM, será recomendable que ésta sea máxima para que la distancia de vuelo sea lo mayor posible y la velocidad vertical sea mínima ya que los descensos del COM hacen que la velocidad de carrera disminuya (115). Las distancias de vuelo son menores en la fase de aceleración y aumentan durante la fase de máxima velocidad (59).

- Distancia de aterrizaje: es la distancia horizontal desde el COM hasta el extremo anterior del pie en el instante del contacto del pie con el suelo (113) y depende de la posición de aterrizaje. Para la fase de aceleración, la posición del COM con respecto al contacto cambia durante las primeras zancadas. Al inicio de

las dos primeras fases de apoyo el COM está más o menos alineado con el punto de apoyo. Al comienzo del tercer apoyo es cuando el COM se sitúa por detrás del punto de apoyo con el suelo (116). En la fase de máxima velocidad una distancia horizontal mínima entre el COM y el primer contacto del pie con el suelo es un importante indicador de una buena técnica de carrera (117), ya que se reduce la fase de frenado.



**Figura 5.** Fases de la zancada según Hay (113). *Takeoff distance* = distancia de despegue; *Flight distance* = distancia de vuelo; y *Landing distance* = distancia de aterrizaje.

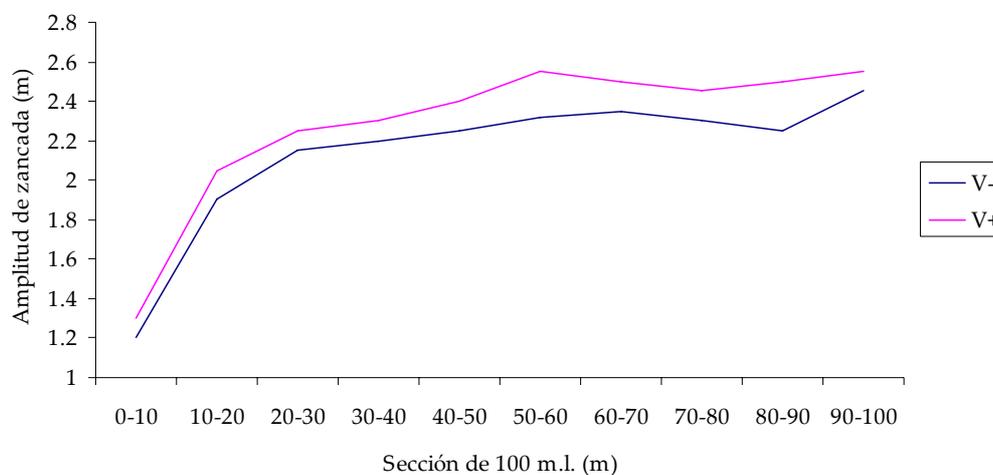
En la Tabla 2 se observa la correlación existente entre distintas variables antropométricas y la amplitud media y máxima en atletas de nivel internacional masculinos (110) y femeninos (109).

**Tabla 2.** Índices de relación entre la zancada (máxima y media) y distintas medidas antropométricas en velocistas de nivel (109, 110).

|                        | Amplitud de Zancada Máxima |            | Amplitud de Zancada Media |            |
|------------------------|----------------------------|------------|---------------------------|------------|
| <b>Altura</b> ♀        | 1.24                       | $r = 0.63$ | 1.15                      | $r = 0.67$ |
| <b>Altura</b> ♂        | 1.20                       | $r = 0.59$ | 1.14                      | $r = 0.69$ |
| <b>Long. extrem.</b> ♀ | 2.33                       | $r = 0.73$ | 2.16                      | $r = 0.68$ |
| <b>Long. extrem.</b> ♂ | 2.35                       | $r = 0.70$ | 2.15                      | $r = 0.90$ |

♀ = Chicas; ♂ = Chicos; Long. = longitud; extrem. = extremidad inferior.

La amplitud varía a lo largo de un sprint (100) (Figura 6). En la fase de aceleración inicial, los deportistas de mejor nivel ( $n = 6$ ; altura =  $181 \pm 4.4$  cm; peso =  $76.2 \pm 2.7$  kgf; 100 m.l. =  $10.18 \pm 0.05$  s) muestran amplitudes de zancada mayores a los de menor nivel ( $n = 6$ ; altura =  $181 \pm 2.2$  cm; peso =  $71.8 \pm 2.1$  kgf; 100 m.l. =  $10.52 \pm 0.08$  s) (100). Durante la fase de transición, la amplitud de zancada parece ser el factor determinante entre los velocistas de más nivel con respecto a los de menor nivel (100). La mayor amplitud de los mejores velocistas puede deberse a una mayor potencia de éstos (118) y se consigue al final de la fase de transición, coincidiendo con la máxima velocidad horizontal de carrera (100). En la fase de deceleración se ha observado una menor reducción en la amplitud de zancada en los mejores velocistas (100).



**Figura 6.** Evolución de la amplitud de zancada en función del nivel de los velocistas durante una carrera de 100 m.l. V+ = velocistas más rápidos; V- = velocistas más lentos. Modificado (100).

La amplitud de carrera óptima es dependiente de la velocidad de carrera (119). Se ha encontrado una correlación lineal moderada entre la amplitud de zancada y la velocidad horizontal a bajas velocidades de carrera ( $3.5$  a  $6.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) (1, 18). Según se va incrementando la velocidad ( $> 6.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) se producen bajos incrementos en la longitud de la misma, incluso la amplitud de zancada empieza a decrecer ligeramente a máximas velocidades (1, 11, 18, 111). De este modo, se puede esperar obtener una baja correlación entre la amplitud de zancada y la velocidad en este alto rango de valores (1, 18).

Con respecto a la posible correlación existente entre el nivel del atleta y la amplitud de zancada se ha observado que existe gran controversia en la

bibliografía científica. Algunos investigadores mantienen que los buenos corredores tienen una zancada mayor a una velocidad dada que los corredores menos técnicos (1, 100, 120, 121). Williams (2) revisó algunos de los estudios que llegaron a esta conclusión, comprobando que las muestras eran muy pequeñas y las velocidades de carrera diferentes. Así, las diferencias podrían no ser el resultado de una técnica de carrera superior. Por lo tanto, concluyó, que no hay suficientes datos para mantener que los mejores corredores tienen mayores o menores amplitudes de zancada a una velocidad dada (2, 122). En un estudio posterior, Gajer et al. (100) encontraron que los velocistas de mejor nivel poseen amplitudes de zancada significativamente mayores cuando se comparan con velocistas de menor nivel. Por lo tanto, no queda claro si existe una correlación positiva entre la amplitud de zancada y el nivel de los velocistas.

#### Oscilación vertical del COM

La oscilación vertical del COM es la diferencia entre su altura máxima y la mínima en cada zancada. Se ha observado que la elevación del COM durante la fase de apoyo no varía, debido a que el trabajo realizado contra la fuerza de gravedad es constante, incluso con el aumento de la velocidad de carrera (1).

El desplazamiento vertical del COM varía según la velocidad de carrera aumenta. Se ha observado que a velocidades sub-máximas el cuerpo es proyectado ligeramente hacia arriba (123-125). Sin embargo, a máxima velocidad

la elevación inicial es eliminada (126), y en consecuencia se ha observado una oscilación mínima durante esta fase (1, 11, 111). Este hecho hace que se produzca un acortamiento del tiempo total de ciclo en la fase de máxima velocidad (11).

b) Desplazamientos angulares

El desplazamiento angular es la diferencia entre la posición angular final e inicial de un cuerpo en rotación. En la velocidad, los desplazamientos angulares son los que van a determinar la configuración del atleta durante la carrera, y de esta forma su técnica. Por lo tanto, su control es de suma importancia. Los desplazamientos angulares más estudiados en el sprint son la inclinación del tronco, y los de los segmentos y articulaciones del tren inferior y superior.

Inclinación del tronco

La posición del tronco en la fase de apoyo es una de las variables cinemáticas más críticas para producir un movimiento eficiente (127). Una forma de definir la inclinación del tronco es con el ángulo formado entre el segmento tronco y la vertical.

Con el fin de equilibrar el movimiento del tren inferior a lo largo de la totalidad del ROM, los velocistas realizan de forma involuntaria ligeras adaptaciones del tronco en las distintas fases de la zancada, pasando de una ligera inclinación en el despegue (2-4°), a una inclinación más pronunciada en el

impacto (*touch down* =  $T_{\text{down}}$ ) ( $4-6^\circ$ ) (128) durante la fase de máxima velocidad. Inclinationes excesivas del tronco hacen que el contacto sea anticipado, mientras que una inclinación hacia atrás del tronco produce una disminución de la acción de recobro (128). En el despegue, los movimientos del tronco permiten un mejor posicionamiento de la pelvis. Este hecho permite al atleta ejecutar la extensión final de la cadera con un ángulo de recobro más eficiente. Este ángulo está en torno a los  $45^\circ$ , y facilita una mejor posición de la extremidad inferior en el apoyo (128).

La mayor inclinación del tronco se produce en la primera parte de la fase de aceleración ( $36.75 \pm 5.9^\circ$ ) (59). Los velocistas disminuyen esta inclinación y llevan el tronco más erecto durante la fase de máxima velocidad de la carrera (128). La inclinación del tronco encontrada en la fase de máxima velocidad en los atletas de nivel internacional en  $T_{\text{down}}$  fue de  $15^\circ \pm 4^\circ$  y en el despegue (*take off* =  $T_{\text{off}}$ ) de  $9^\circ \pm 5^\circ$  ( $n = 8$ ) (59).

La inclinación del tronco en la fase de máxima velocidad disminuye de  $14^\circ$  a  $8^\circ$  con el incremento de la velocidad (120). Cualquier inclinación hacia detrás o hacia delante exagerada (alrededor de  $6^\circ$ ) causa un acortamiento de la longitud de zancada (128). Aún así, los velocistas de nivel internacional tienen una inclinación mayor de tronco, cuando se compara con los decatletas (121, 129).

Hombro

El ROM de los hombros es definido por la movilidad de la articulación del hombro. Queda configurado por el segmento tronco y el segmento brazo. El ROM de los hombros aumenta a partir de que la velocidad de carrera sobrepasa los  $4.4 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , produciéndose incrementos de  $63^\circ$  a  $112^\circ$ , hasta conseguir la máxima velocidad (120). El aumento del ROM de los hombros es proporcional al aumento de la amplitud de zancada hasta velocidades en torno a los  $6.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (120). A partir de esta velocidad, la longitud de zancada se incrementa muy poco, mientras que el ROM incrementa de forma significativa (120). La correlación entre la frecuencia de zancada y el ROM de los hombros es casi lineal, según va aumentando la velocidad (120). Es posible que los atletas de mayor nivel tengan valores diferentes de ROM, debido a que las velocidades de carrera, para los mismos, son mayores (120).

### Codo

La articulación del codo queda definida por el segmento brazo y el segmento antebrazo. Al igual que ocurre con el hombro, el ángulo del codo en el plano sagital aumenta conforme la velocidad aumenta (de  $80^\circ$  a  $101^\circ$ ) (120).

### Resumen

Existen pocas evidencias científicas para indicar que el tren superior juega un importante rol en relación con el rendimiento en el sprint (21), a pesar de poder existir una relación entre la cinemática del tren superior con la del tren inferior, y de la importancia que dan los entrenadores a la hora de controlar esta variable. Hinrichs et al. (130) mostraron que las extremidades superiores contribuyen a crear impulsos verticales y no horizontales, sin embargo compensan los momentos angulares de la extremidad inferior.

#### Cadera

El ángulo de la cadera queda definido por el segmento muslo respecto al tronco. A diferencia de la poca documentación referente a la acción del tren superior, la cinemática del tren inferior está mucho más detallada. La máxima extensión de la cadera se produce durante o inmediatamente después del despegue y la máxima flexión de la cadera contralateral ocurre en el mismo instante (131).

Los mejores velocistas poseen un menor ángulo de extensión en el despegue (21). Esta diferencia también se observa al comparar los sprints con carreras a menor velocidad (131, 132). Este hecho favorece el aumento de la frecuencia de zancada (21).

En la fase de recobro se debe acortar el radio de rotación de la cadera lo máximo posible para acercar el centro de masas de la extremidad inferior al eje de rotación de la cadera, aproximando lo máximo posible la pierna al muslo (128). De esta manera, la inercia angular será menor, lo que facilita la acción. Por otro lado, conforme la velocidad de carrera aumenta, el ROM de la cadera también aumenta. El ROM de la cadera durante la fase de balanceo pasa de 40° en carrera a baja velocidad (3.31 m·s<sup>-1</sup>), 60° en carrera a media velocidad (4.77 m·s<sup>-1</sup>) y 80° en los sprints (10.8 m·s<sup>-1</sup>) (131).

En la fase de aceleración, para la extremidad de apoyo, la cadera está flexionada en T<sub>down</sub> 99° de media, y en T<sub>off</sub> 144-173° (133, 134) (atletas masculinos de nivel nacional). En T<sub>off</sub> se ha observado una flexión de 167° (21) (atletas masculinos de nivel internacional).

### Muslo

La angulación del muslo queda definida por el muslo y la horizontal. Conforme aumenta la velocidad de carrera la elevación del muslo es mayor (124, 135, 136). Se ha observado una tendencia en los atletas más técnicos a tener una mayor elevación del muslo de la pierna libre (137, 138), hecho que hace incrementar la amplitud de zancada (120). En la fase de máxima velocidad, el ángulo del muslo (muslo con respecto a la vertical) en T<sub>down</sub> es de 0-30° (48, 121, 139) (atletas masculinos y femeninos de nivel nacional). Además, en los mejores

velocistas, una de las variables más determinantes es el ángulo del muslo en el instante en el que el COM pasa por encima del apoyo del pie (*touch middle* =  $T_{mid}$ ). Este ángulo normalmente está entre 70-90° en los mejores velocistas (para la fase de máxima velocidad) y es más bajo en los de menor nivel (129). Este aumento en el ángulo del muslo en este instante, ayuda a disminuir el tiempo de contacto y, en consecuencia, aumentar la frecuencia de zancada (129).

### Rodilla

El ángulo de la rodilla está formado por el segmento muslo y el segmento pierna. Durante la fase de apoyo en los sprints casi no se produce flexión de rodilla (rango de flexión de unos 20-30°) (131, 132). El ángulo de la rodilla durante el recobro decrece (aumenta la flexión) con el aumento de la velocidad, con el fin de permitir un movimiento más rápido del pie hacia delante (120). Esta acción causa un descenso de la inercia angular de la extremidad inferior sobre la articulación de la cadera (2).

En la fase de aceleración la rodilla está flexionada en  $T_{down}$  a 112° y en  $T_{off}$  a 160° (133, 140) (valores de atletas masculinos de nivel nacional). En la fase de máxima velocidad la rodilla está flexionada en el apoyo a 151° (52) (atletas masculinos y femeninos de nivel nacional), y en el despegue a 157° (21) (valores de atletas de nivel internacional masculinos).

### Pierna

El ángulo de la pierna se define por el formado entre la orientación del segmento pierna con la vertical. En el impacto, normalmente, la pierna forma un ángulo de  $0^\circ$  con el suelo (13, 121). Se debe destacar que la posición de la pierna en el impacto, puede afectar los cambios en la velocidad horizontal del cuerpo durante la fase de apoyo (2), ya que puede incrementar la fase de frenado de la zancada.

### Tobillo

El ángulo del tobillo es el formado entre la dirección de la pierna y el pie. Durante el sprint, en el instante  $T_{\text{down}}$ , la articulación del tobillo comienza en flexión plantar (131, 132). El ángulo del tobillo en  $T_{\text{down}}$  disminuye con el aumento de la velocidad, pasando de  $108^\circ$  a velocidades de  $3.31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  hasta  $98^\circ$  a la velocidad de  $10.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Independientemente de la velocidad de carrera, la flexión plantar es máxima justo después del despegue (131). Por otro lado, se ha observado que el rango del tobillo durante todo el apoyo aumenta con el incremento de la velocidad de carrera ( $10^\circ$  a velocidades de  $3.31 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $15^\circ$  a velocidades de  $10.80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) en atletas universitarios americanos especializados en pruebas de 100 m.l. hasta 800 m (131) .

En la fase de aceleración, el tobillo está flexionado  $81^\circ$  de media en  $T_{\text{down}}$  y  $124^\circ$  en  $T_{\text{off}}$  (131, 133) (valores de atletas universitarios y de nivel nacionales masculinos). En la fase de máxima velocidad, para atletas universitarios, se han observado ángulos de  $98^\circ$  en  $T_{\text{down}}$ , de  $82^\circ$  en  $T_{\text{mid}}$ , y de  $115^\circ$  en  $T_{\text{off}}$  (131). Se ha observado que en el inicio del contacto se produce flexión dorsal del tobillo (132). Una vez el COM pasa por  $T_{\text{mid}}$  se produce una rápida flexión plantar (132).

Pie

El ángulo del pie esta definido por la dirección del pie y la horizontal. A velocidades máximas los velocistas contactan con el suelo con el metatarso (132). El ángulo del pie disminuye al inicio del contacto (132).

#### 2.3.2.1.2. Variables temporales

Las variables temporales son aquellas que relacionan alguna variable determinada con el tiempo. La frecuencia de zancada, que relaciona la zancada por el tiempo, o el tiempo de contacto, son ejemplos claros de variables temporales importantes en el sprint.

- a) Frecuencia de zancada

La frecuencia de zancada se define como el número de zancadas que se producen por unidad de tiempo (2). Está condicionada por la longitud (13, 109, 110) y el peso (141) del tren inferior, la velocidad de carrera (1, 11, 18, 21, 22), el tipo de fibra muscular (19, 117, 141), y por la coordinación inter-muscular (141) (Figura 7).

Uno de los factores que afectan a la frecuencia de zancada es la longitud de las extremidades inferiores (13). Los atletas con una longitud de extremidad inferior mayor, poseen frecuencias de zancada menores (13) y viceversa. Para la frecuencia de zancada media y la longitud de la pierna en sujetos masculinos de élite, se ha establecido el siguiente índice (se obtiene de multiplicar la frecuencia de zancada por la longitud de la extremidad inferior): 4.34 ( $r = 0.76$ ) (110). Para las atletas femeninas se estableció un índice de 4.00 ( $r = 0.51$ ) (109). La frecuencia de zancada depende, además, de la relación existente entre la fuerza generada por los músculos flexores y extensores, en relación al peso del tren inferior (141).

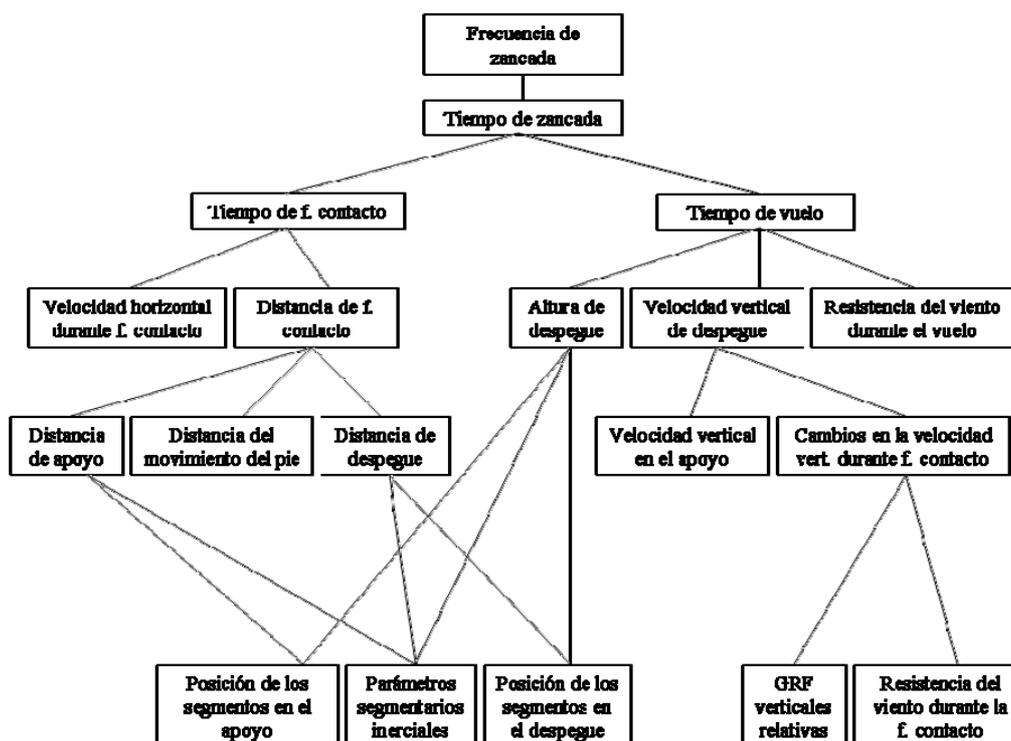
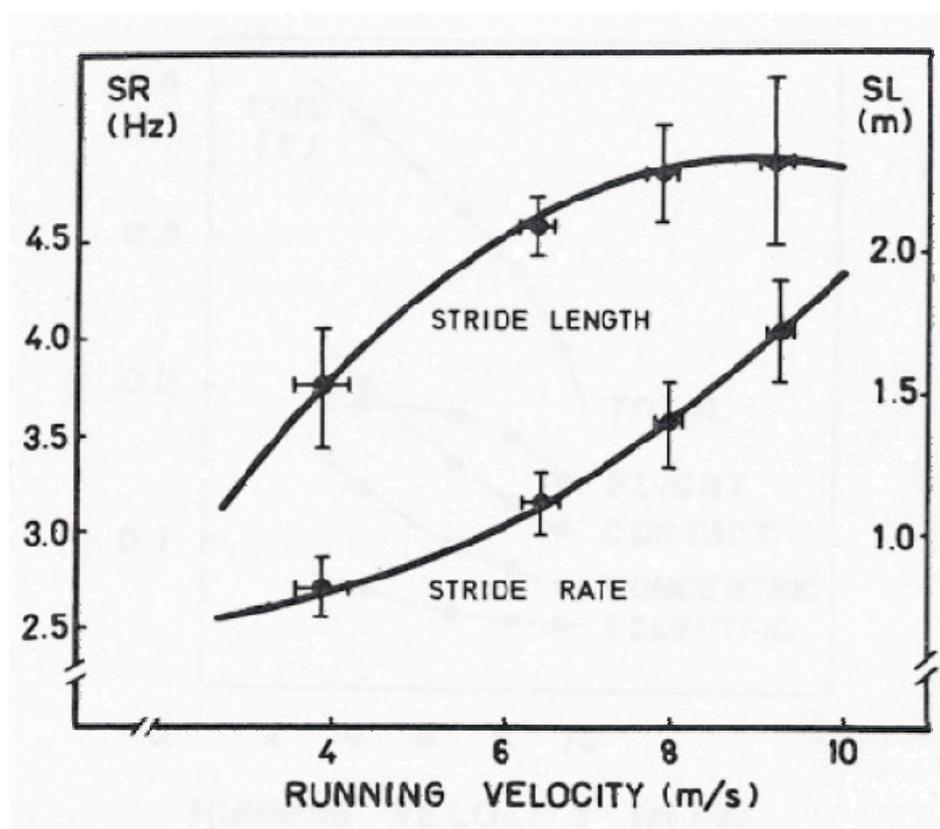


Figura 7. Variables que determinan la frecuencia de zancada. Modificado de Hay (5). F = fase. GRF = fuerzas de reacción del suelo (*ground reaction forces*).

Se han hallado correlaciones significativas entre la velocidad de carrera y la frecuencia de zancada en carreras a velocidad máxima y supra-máxima (22). Distintos estudios han mostrado que la frecuencia de zancada se eleva cuando la velocidad de carrera aumenta. Estos ligeros incrementos se producen cuando la velocidad aumenta hasta velocidades de  $6 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (1, 11, 18, 111). Cuando la velocidad de carrera aumenta desde una velocidad moderada hasta una velocidad máxima ( $6\text{-}9 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), se han observado incrementos proporcionalmente mayores para la frecuencia de zancada (1, 11, 18, 22) con respecto a la amplitud

(Figura 8). A velocidad supra-máxima se puede correr con una mayor frecuencia de zancada que en las carreras a máxima velocidad (22).



**Figura 8.** Longitud (SL) y frecuencia (SR) de zancada a distintas velocidades de carrera (11). Tomado sin modificaciones.

El nivel de los deportistas puede ser otro factor que afecta a la frecuencia de zancada. Sin embargo, este hecho no está totalmente confirmado. Por un lado, se han encontrado diferencias significativas entre atletas de nivel internacional y nacional (1, 122), indicando que a una velocidad dada los velocistas de nivel internacional tienen una frecuencia de zancada menor (1). De hecho, las mayores

diferencias cinemáticas entre los deportistas de nivel internacional se encuentran en la frecuencia de zancada (21, 22), principalmente por una reducción de los tiempos de contacto (21). Sin embargo, por otro lado, al comparar a atletas de nivel con otros de menor nivel, los velocistas de menor nivel poseen mayores frecuencias de zancada medias, aunque estas diferencias no fueron significativas. Por ello, parece que la frecuencia de zancada no es un factor limitante entre atletas de nivel con otros de menor nivel (100, 104). Los datos referentes a la frecuencia de zancada en deportistas de nivel internacional y nacional se pueden observar en la Tabla 3 (pág. 92) para la fase de aceleración y en la Tabla 4 (pág. 93) para la fase de máxima velocidad.

Por último, se han encontrado correlaciones significativas ( $r = 0.67$ ;  $p < 0.001$ ;  $n = 23$ ; 100 m.l. = 11.1 s) entre la frecuencia de zancada media en 30 m y el porcentaje de las fibras musculares de contracción rápida (FT) del vasto lateral del cuádriceps femoral (19, 117). Esta correlación parece indicar que está implicado el reclutamiento de las vías que activan las unidades motoras más adecuadas, con el fin de producir el mayor ratio de producción de fuerza (19), y la coordinación inter-muscular (141). Uno de los factores que determinan la distribución de las fibras musculares es de carácter genético (142). Así, la frecuencia de zancada máxima se puede considerar una característica genética (13, 25).

Relación entre amplitud y frecuencia de zancada

---

La velocidad en el sprint, desde un punto de vista cinemático, se puede determinar por el producto de la amplitud por la frecuencia de zancada (1, 18-20). Un incremento en un factor deberá resultar en una mejora de la velocidad de carrera, siempre y cuando no se produzca una disminución del otro. La derivación de la ecuación que relaciona la velocidad horizontal con la amplitud y la frecuencia de zancada se puede observar en la Figura 9.

---

$$VH = DH/TZ$$

Donde VH es la velocidad horizontal media del cuerpo durante una zancada, DH es el desplazamiento horizontal del cuerpo en una zancada, y TZ es el tiempo en completar una zancada.

$$DH \approx LZ$$

El desplazamiento horizontal del cuerpo (DH) durante una zancada es aproximadamente igual a la longitud de zancada (LZ).

$$VH = LZ/TZ$$

Sustituyendo LZ por DH.

$$FZ = 1/TZ$$

La frecuencia de zancada (FZ) es el número de zancadas por segundo y se calcula como la inversa del tiempo por zancada (TZ).

$$TZ = 1/FZ$$

$$VH = LZ/(1/FZ)$$

Sustituyendo 1/FZ por TZ.

$$VH = LZ * FZ$$

---

**Figura 9.** Derivación de la ecuación que relaciona la velocidad horizontal con la amplitud y la frecuencia de zancada (1, 18-20).

La ecuación indica que la velocidad horizontal media en una zancada es directamente proporcional a la longitud de zancada y a la frecuencia de zancada. De esta forma, la amplitud y la frecuencia de zancada pueden ser utilizadas para describir los patrones de movimiento que un velocista utiliza para correr a distintas velocidades (1, 143).

Existen distintas investigaciones que han estudiado la importancia relativa del desarrollo de una mayor amplitud o una alta frecuencia de zancada para el aumento de la velocidad de carrera, sin embargo la mayoría de estas investigaciones no han sido concluyentes. Por un lado, existen estudios que han sugerido que el factor más limitante en el aumento de la velocidad de carrera es la frecuencia de zancada (9, 117) y algunos aspectos relacionados con esta variable (144, 145). Por otro lado, se ha encontrado un trabajo (146) que afirma que el aumento de la amplitud de zancada beneficia más el rendimiento. Finalmente, existen trabajos que recomiendan mejorar ambas variables de forma paralela (21, 121). El estudio encontrado más actualizado sobre el tema demuestra que la longitud de zancada correlaciona de forma significativa con la velocidad en el sprint, sin embargo, no se encontró correlación significativa con la frecuencia. Por el contrario, en este mismo estudio, se determinó que cuando se comparaban los atletas consigo mismos, es decir, la mejor repetición con la tercera mejor, se observó que los atletas tendían a producir su repetición más rápida en 30 m con una frecuencia de zancada mayor, y no con una longitud mayor (147). Esta tendencia está en consonancia con aquellas investigaciones que muestran que

según la velocidad de carrera aumenta de sub-máxima hasta máxima, la frecuencia de zancada aumenta, mientras la longitud se mantiene constante, o incluso decrece ligeramente (11, 148).

b) Tiempos de contacto

El tiempo de contacto comprende la totalidad de tiempo en el que el pie del deportista está en contacto con el suelo. Para los sprints, se ha observado que los tiempos de apoyo decrecen de forma significativa según la velocidad de carrera aumenta (1, 2). De esta forma, el descenso del tiempo de zancada, acompañado de un aumento de la velocidad, se debe principalmente al descenso de los tiempos de contacto (1). Diversos autores sugieren que el incremento en la frecuencia de zancada se obtiene por un descenso del tiempo total de contacto del pie con el suelo (1, 21, 122).

Una de las características que diferencian a los mejores velocistas es que tienden a tener tiempos de contacto más cortos (21, 59, 121). En el estudio de Atwater (59), realizado con velocistas de nivel internacional, se registraron tiempos de contacto medios de  $0.111 \pm 0.09$  s durante la fase de máxima velocidad ( $n = 8$ ). Mann y Sprague (149) encontraron tiempos de contacto ligeramente superiores para la misma fase de carrera, 0.121 s ( $n = 15$ ). Probablemente debido a que los velocistas eran de distintos niveles, es decir, participaban tanto universitarios como velocistas de élite mundial.

Por último, remarcar que los velocistas tienen muy poco tiempo para aplicar fuerza. Este límite en el tiempo de contacto, hace que el desarrollo de la fuerza específica con un tiempo específico de aplicación sea determinante en estas pruebas (23). La fase de apoyo es del 22% del tiempo total de ciclo en la fase de máxima velocidad (dos zancadas) (132).

c) Tiempos de vuelo

El tiempo de vuelo es la totalidad de tiempo en el que el velocista no está en contacto con el suelo. A velocidades sub-máximas y máximas, el tiempo de vuelo parece decrecer más rápido que el tiempo de contacto (2, 11). De esta forma, el tiempo de contacto relativo llega a ser mayor.

El tiempo de vuelo registrado en velocistas de élite fue de 0.064 s en el primer apoyo, de 0.044 s (18% del tiempo total de ciclo) en el segundo apoyo, de 0.060 s (24% del tiempo total de ciclo) en el tercer apoyo, y de 0.070 s (30% del tiempo total de ciclo) en el cuarto. En la fase de máxima velocidad, los tiempos de vuelo fueron de  $0.113 \pm 0.008$  s de media (51% del tiempo total de ciclo) ( $n = 8$ ) (59). En un estudio con velocistas universitarios, los tiempos de vuelo encontrados fueron de  $0.127 \pm 0.002$  s (53% del tiempo total de ciclo) para la fase de máxima velocidad (139). Estos datos parecen mostrar que los tiempos de vuelo

son mayores con el aumento de la velocidad y menores cuando los atletas son de mayor nivel.

### Resumen

A modo de resumen se exponen los estudios que muestran, de forma descriptiva, las variables relativas a la zancada en atletas de nivel internacional y nacional, tanto para la fase de aceleración (Tabla 3) como para la de máxima velocidad (Tabla 4).

**Tabla 3.** Variables de la zancada en la fase de aceleración (0-10 m) en atletas masculinos de nivel internacional y nacional.

|                      | <b>Amplitud de zancada (m)</b>               | <b>Frecuencia de zancada (Hz)</b>          | <b>Tiempo de contacto (ms)</b>             | <b>Distancia de aterrizaje (m)</b> |
|----------------------|--|--|--|------------------------------------|
| <b>Internacional</b> | 1.30 – 1.40<br>(98, 100, 104, 131, 150, 151) | 3.9 – 4.4<br>(98, 100, 104, 131, 150, 151) | 125 - 150<br>(98, 100, 104, 131, 150, 151) | ~ 0 <sup>(133)</sup>               |
| <b>Nacional</b>      | 1.25 <sup>(152)</sup>                        | 4.5 <sup>(152)</sup>                       | -  | -                                  |

El estudio de las variables de la zancada es muy útil desde el punto de vista del entrenamiento. Sin embargo, desde un punto de vista cinemático, se debe realizar un análisis más profundo con el fin de conocer las variables que determinan la amplitud y la frecuencia de zancada. Hay (113) proporciona una detallada descripción en relación a este aspecto, gracias a su “modelo determinista” (Figura 4, pág. 69, y Figura 7, pág. 84).

**Tabla 4.** Variables de la zancada determinantes para la fase de máxima velocidad en atletas masculinos.

|                      | <b>Amplitud de zancada (m)</b>               | <b>Frecuencia de zancada (Hz)</b>            | <b>Tiempo de contacto (ms)</b> | <b>Distancia de aterrizaje (m)</b> |
|----------------------|--|--|--------------------------------|------------------------------------|
| <b>Internacional</b> | 2.00 - 2.70<br>(21, 98, 104, 121, 153, 154)  | 4.09 - 4.90<br>(21, 98, 104, 121, 153, 154)  | 70 - 125<br>(21, 98, 121, 155) | 0.28 - 0.33<br>(55, 156)           |
| <b>Nacional</b>      | 2.02 - 2.49<br>(22, 117, 118, 139, 154, 157) | 4.01 - 4.90<br>(22, 117, 118, 139, 154, 157) | 89 - 116<br>(22, 59, 139, 157) | 0.37 <sup>(52)</sup>               |

### 2.3.2.1.3. Velocidades

Dentro de las variables de velocidad que se estudian en las carreras de velocidad, se puede distinguir entre velocidad lineal del COM, tanto horizontal como vertical, y velocidades angulares de los segmentos y articulares.

#### a) Velocidad lineal horizontal máxima del COM

La velocidad horizontal es la máxima velocidad alcanzada por el COM del sujeto durante el tramo analizado. La velocidad máxima horizontal en los sprints se alcanza a los 4-5 s después de la salida (7). Este es uno de los parámetros cinemáticos determinantes en los sprints (21, 122).

En los estudios revisados (Tabla 5), las velocidades máximas conseguidas por velocistas de nivel nacional van de  $8.44 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  a  $10.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (11, 22, 117, 118, 139,

146, 149, 154, 156-158). Para velocistas de nivel internacional se han observado velocidades entre  $10.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y  $12.05 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (22, 98, 103, 118, 154, 157, 159).

Los velocistas contactan en el suelo con el metatarso cuando corren a máxima velocidad (131, 132). Uno de los objetivos para mejorar el rendimiento es evitar el enlentecimiento del cuerpo en el contacto. Este objetivo se cumple cuando la velocidad horizontal del pie es igual o está cerca de cero en ese instante (127).

**Tabla 5.** Máxima velocidad horizontal y vertical del COM en la fase de máxima velocidad en atletas masculinos.

|                      | <b>Velocidad horizontal máxima<br/>(<math>\text{m}\cdot\text{s}^{-1}</math>)</b> | <b>Velocidad vertical despegue<br/>(<math>\text{m}\cdot\text{s}^{-1}</math>)</b> |
|----------------------|--|--|
| <b>Internacional</b> | 10.00 - 12.05<br>(22, 98, 118, 153, 154, 157)                                    | 0.57 - 0.76<br>(21, 122)   |
| <b>Nacional</b>      | 8.44 - 10.00<br>(11, 22, 117, 118, 139, 146, 149, 153, 154, 156, 157)            | 0.41 - 0.53<br>(118, 154)  |

Debido a la importancia de esta variable sobre el sprint se debe controlar su modificación, sobre todo en los estudios que se desarrollan pudiéndose producir una variación de la misma.

- b) Velocidad lineal vertical máxima del COM

Por velocidad lineal vertical máxima del COM se entiende la velocidad vertical máxima del COM en la fase de apoyo. En atletas de nivel internacional, se ha encontrado que consiguen el mayor rendimiento cuando minimizan la máxima velocidad vertical, produciéndola muy cerca del despegue. Sin embargo, en deportistas de menor nivel, o cuando la fatiga se hace notar, la velocidad vertical máxima aumenta y se produce mucho antes del instante de despegue (21).

Se han encontrado correlaciones significativas entre la velocidad vertical máxima y la velocidad horizontal máxima de desplazamiento en 36.6 m (160). No obstante, no se han encontrado diferencias significativas entre la velocidad vertical máxima de los medallistas y los finalistas en los campeonatos del Mundo de atletismo (122).

c) Velocidad angular

La velocidad angular es la velocidad de giro de las articulaciones y segmentos. Se ha observado que la velocidad angular de las articulaciones y segmentos del tren inferior aumenta con el incremento de la velocidad de carrera (111). Por ejemplo, la velocidad angular del muslo es una buena medida para determinar el rendimiento en los sprints (21, 127).

La velocidad angular en el impacto, en el despegue y la máxima durante el recobro son los tres resultados cinemáticos que están directamente relacionados

con los resultados cinéticos que determinan el éxito en los sprints (127). Se recomienda que la velocidad angular de la flexión de la cadera durante el recobro debería ser máxima ( $> 500^{\circ} \cdot s^{-1}$ ), que la velocidad angular de la extensión de la misma durante el contacto debería ser maximizada ( $\sim 400^{\circ} \cdot s^{-1}$ ) y que la velocidad de extensión de ésta en el despegue debería ser igual o mayor que los resultados en el apoyo (127). La velocidad máxima del recobro (articulación de la cadera), directamente relacionada con el momento de los flexores durante esta fase, es un indicador de la velocidad y el grado de elevación de la rodilla en el sprint (127). La velocidad angular en el apoyo indica la vigorosidad a la que ha sido extendida la extremidad inferior durante la fase de apoyo (momento de los extensores de cadera), mientras que la velocidad angular en el despegue demuestra la habilidad en el rendimiento para continuar el movimiento de extensión crítico durante la fase de apoyo (momento de los extensores de cadera) (127). Los velocistas de nivel internacional tienen una velocidad angular media del muslo superior a la de los decatletas (129).

La velocidad angular del muslo puede ser usada para indicar la economía del esfuerzo del movimiento. Esto es debido a que la velocidad angular de este segmento durante el apoyo es el mejor indicador del trabajo hecho por los músculos de la rodilla durante la zancada (127). En el contacto, este valor debería ser maximizado ( $\sim 300^{\circ} \cdot s^{-1}$ ), produciendo la máxima velocidad angular que fuera posible (127). La velocidad angular de la extremidad inferior es relativamente baja en la fase de aceleración. Según la velocidad se incrementa, el tiempo de contacto,

la fuerza y el impulso disminuye, mientras que la velocidad angular aumenta (19).

Otro factor determinante en el rendimiento de los velocistas es el hecho de conseguir una velocidad angular alta del pie en el impacto (21). Esta situación se puede conseguir gracias a velocidades angulares apropiadas del muslo y la pierna (127). Una velocidad angular inadecuada del tobillo, produce una acción de frenado en el cuerpo (132).

#### 2.3.2.1.4. Resumen

De forma general, en la fase de aceleración, la longitud y frecuencia de zancada, y los tiempos de vuelo (fase de vuelo) aumentan progresivamente (1, 2, 21), mientras que los tiempos de contacto (fase de apoyo) decrecen a lo largo de la fase (98). En la fase de máxima velocidad, la frecuencia y la amplitud de zancada es mayor (11, 21) y los tiempos de contacto son más reducidos que en la fase de aceleración (1, 2) (Tabla 3, pág. 92, y Tabla 4, pág. 93).

Con respecto a los ángulos articulares y segmentarios, en la Tabla 6 se puede observar un resumen de los mismos en la fase de aceleración y de máxima velocidad. Además, se han definido dependiendo del instante en el que se controlan.

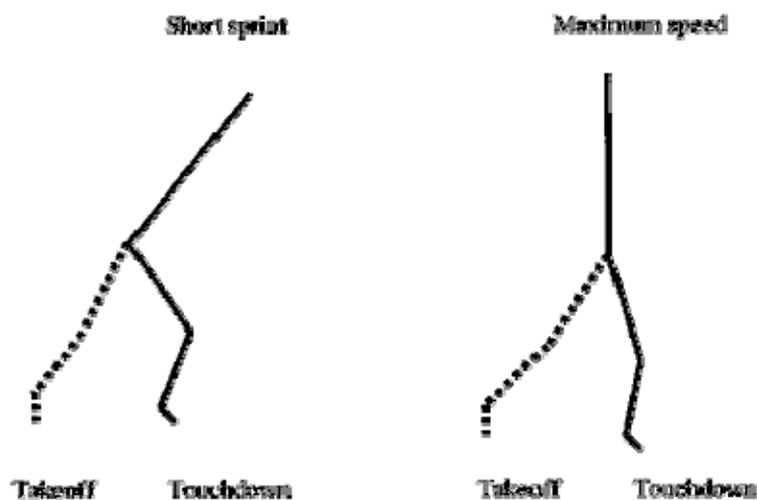
**Tabla 6.** Resumen de ángulos en las articulaciones y segmentos de la pierna de apoyo en distintos instantes de la fase de aceleración y de máxima velocidad.

|                       | Fase de aceleración  |                         | Fase de máxima velocidad |                       |                     |
|-----------------------|----------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------|---------------------|
|                       | T <sub>down</sub>    | T <sub>off</sub>        | T <sub>down</sub>        | T <sub>mid</sub>      | T <sub>off</sub>    |
| <b>Inclin. Tronco</b> |                      | ~36 <sup>i-m</sup>      | ~15 <sup>n-m-f</sup>     | -                     | ~9 <sup>i-m</sup>   |
| <b>Cadera</b>         | ~99 <sup>n-m</sup>   | ~144-173 <sup>n-m</sup> | ~0-30 <sup>*n-m-f</sup>  | -                     | ~167 <sup>i-m</sup> |
| <b>Muslo</b>          | -                    | -                       | -                        | ~70-90 <sup>i-m</sup> | -                   |
| <b>Rodilla</b>        | ~112 <sup>n-m</sup>  | ~160 <sup>n-m</sup>     | ~151 <sup>i-m-f</sup>    | -                     | ~157 <sup>i-m</sup> |
| <b>Pierna</b>         | -                    | -                       | 0 <sup>i-m</sup>         | -                     | -                   |
| <b>Tobillo</b>        | ~81 <sup>u-n-m</sup> | ~124 <sup>u-n-m</sup>   | ~98 <sup>u-m</sup>       | ~82 <sup>u-m</sup>    | ~115 <sup>u-m</sup> |

T<sub>down</sub> = instante del contacto con el suelo; T<sub>mid</sub> = instante en el que el COM pasa por el pie de contacto; T<sub>off</sub> = instante de despegue del suelo. i = sujetos de nivel internacional; n = nacionales; u = universitarios; m = masculinos; f = femeninos. \* = todos los ángulos expuestos coinciden con las definiciones que se han aportado, excepto el ángulo de la cadera en T<sub>down</sub>, que los autores lo definen como el ángulo formado entre el segmento muslo y la vertical.

Por último, la velocidad angular de la extremidad inferior es relativamente baja en la fase de aceleración. A medida que la velocidad se incrementa, la fuerza y el impulso disminuyen, y la velocidad angular máxima aumenta (19, 111).

En la Figura 10 se pueden observar algunas diferencias en la cinemática del sprint en la fase de aceleración con respecto a la fase de máxima velocidad.



**Figura 10.** Posición del cuerpo en el impacto (Touchdown) y en el despegue (Takeoff) tanto en la fase de aceleración (short sprints) como de máxima velocidad (maximum speed) (43).

#### 2.3.2.1.5. Relación entre las variables angulares y lineales determinantes en la amplitud y la frecuencia de zancada

Existe una influencia relativa de distintas variables sobre el tiempo de contacto, distancia de aterrizaje, tiempo de vuelo y distancia de vuelo. Hunter et al. (147) encontraron que la longitud de la extremidad inferior y la posición del cuerpo en el impacto y en el despegue (definida por el ángulo de la extremidad inferior en  $T_{down}$  y en  $T_{off}$ ) permiten predecir la distancia de aterrizaje. De la misma forma, estas variables, junto con la velocidad horizontal del COM durante el impacto, permiten la predicción del tiempo de contacto. Los resultados de dicho estudio (147) indican que cuanto mayor es la velocidad horizontal del atleta, más

corto es el tiempo disponible para la impulsión. Este estudio también muestra que el tiempo de contacto es más corto cuando: el deportista aterriza con el pie próximo al COM; y/o si el contacto termina antes de que el COM se haya desplazado mucho más allá del pie de apoyo.

Hunter et al. (147) encontraron, además, que una amplia parte de la varianza de la velocidad vertical en el despegue está determinada tanto por el tiempo como por la distancia de vuelo. Los autores afirman, sin embargo, que este resultado no quiere decir que la velocidad vertical en el despegue es más importante que otras variables, sino que una gran velocidad vertical en el despegue posee un prominente y positivo efecto sobre la amplitud de zancada, pero también un destacado y negativo efecto sobre la frecuencia de zancada.

#### 2.3.2.2. *Variables cinéticas*

Variabes cinéticas son aquellas relacionadas con las causas que producen el movimiento, es decir: las fuerzas. En este apartado están incluidas tanto las fuerzas internas como las fuerzas externas (105). La fuerza, o la habilidad de expresar fuerza, es una característica que determina el rendimiento en el deporte. Cada deporte varía en sus requerimientos de fuerza (161).

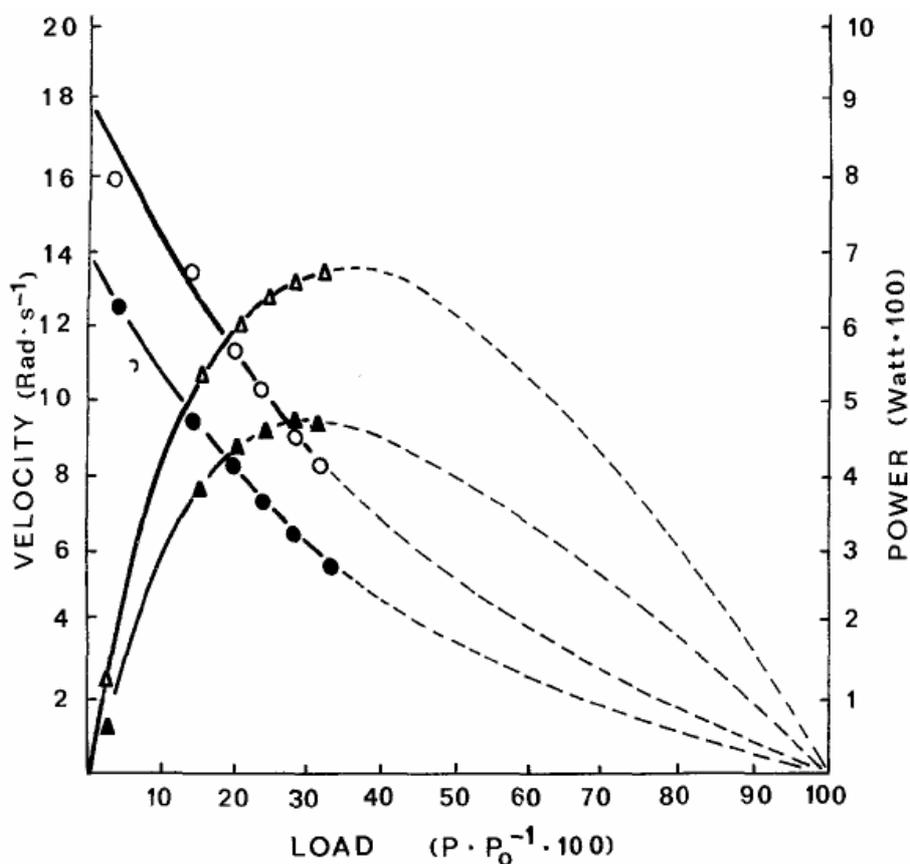
##### 2.3.2.2.1. Fuerzas internas

Las fuerzas internas hacen referencia a las producidas por los tejidos internos, la acción muscular, de los huesos, de los ligamentos, o de la fricción entre músculos y articulaciones (105). Sobre este tipo de fuerzas es donde el ser humano tiene control, de esta forma son las que más van a influir sobre el rendimiento del mismo.

La acción deportiva es el resultado de la interacción de la fuerza desarrollada por los grupos musculares con las fuerzas externas, representadas por los segmentos corporales, la gravedad, el material deportivo (balones, discos, jabalinas, etc.), o por los oponentes en los deportes de contacto (162). Para que haya actividad física se debe producir siempre una acción muscular. De acuerdo con la clasificación de Knuttgen y Komi (162), el ejercicio puede ser clasificado como dinámico o estático. En los ejercicios estáticos se produce una acción muscular isométrica, el músculo desarrolla fuerza pero no se produce movimiento externo, y la longitud del complejo músculo-tendinoso no varía. Durante una acción dinámica, el músculo se puede acortar o alargar en función de si vence o no la resistencia externa. Si la vence, se produce una contracción concéntrica, los músculos producen fuerza a la vez que se acortan. Si vence la fuerza externa, se produce una contracción excéntrica, situación en la que el músculo produce fuerza a la vez que se alarga (163).

Para cada tipo de acción, el músculo puede producir tanto fuerza máxima, bien sea dinámica (FDM) (isotónica, es decir, ante una resistencia constante; o

isocinética, es decir, a una velocidad constante) o por el contrario, estática (FIM) (isométrica) (164), como fuerza explosiva. La fuerza explosiva hace referencia a la capacidad de producir altos niveles de fuerza a gran velocidad. Se produce una relación hiperbólica (Figura 11) entre la velocidad de acortamiento muscular y la fuerza producida (curva de fuerza-velocidad). Esta manifestación de la fuerza es una de las características mecánicas fundamentales del músculo esquelético (165-167). La potencia mecánica es la magnitud que relaciona la fuerza con la velocidad. La curva de fuerza-velocidad (F-V) de los músculos expresa que durante acciones musculares concéntricas, y según la velocidad de movimiento se incrementa, la capacidad del músculo de producir fuerza decrece. La potencia máxima se consigue gracias al mejor nivel de compromiso entre la fuerza y la velocidad. Este punto se abordará de forma extensiva en el apartado 2.4.2. que trata sobre el entrenamiento del sprint.

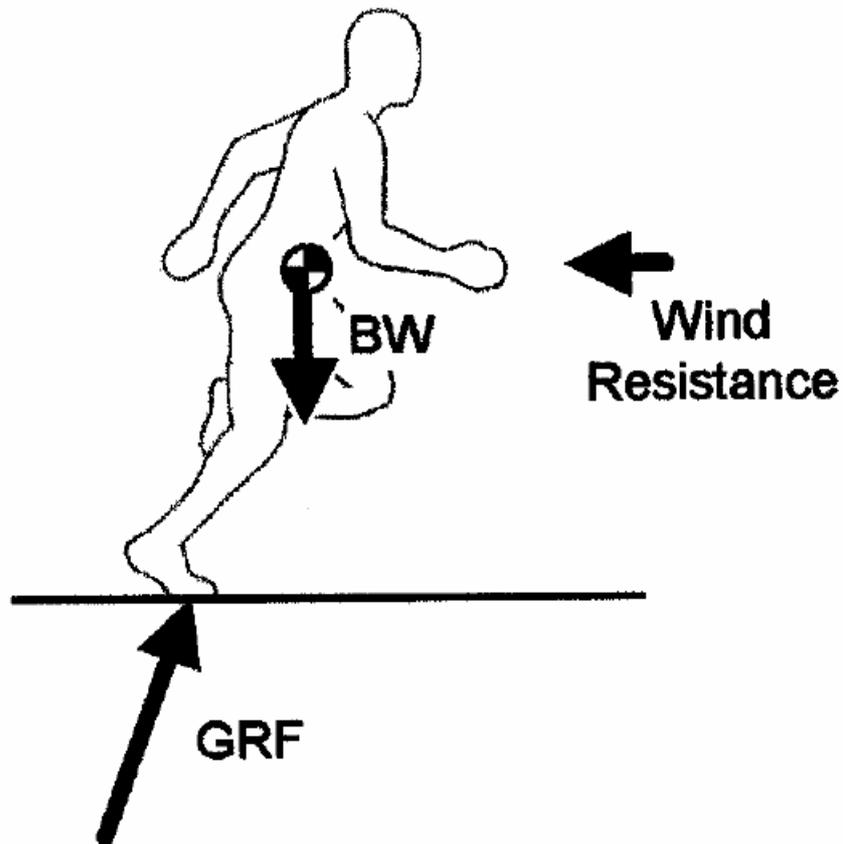


**Figura 11.** Relación entre la fuerza-velocidad (círculos) y la fuerza-potencia (triángulos) en 10 saltadores de longitud y altura entrenados (168).

#### 2.3.2.2.2. Fuerzas externas

Las fuerzas externas son aquellas que afectan al cuerpo y están originadas por otros cuerpos. Proceden del suelo o de cargas externas, de cuerpos activos o de fuentes pasivas (105). La aceleración del COM de un velocista está determinado principalmente por tres fuerzas externas: las fuerzas de reacción del suelo (*ground reaction forces* = GRF), la fuerza gravitacional o peso del cuerpo y la

resistencia del viento. De estas tres fuerzas, el atleta posee mayor influencia sobre las GRF.



**Figura 12.** Fuerzas externas que influyen en el rendimiento de la velocidad. *BW* = peso corporal; *Wind resistance* = resistencia del viento; *GRF* = fuerzas de reacción del suelo (169).

- a) Fuerzas de reacción del suelo

Las GRF pueden descomponerse en tres direcciones ortogonales. En el caso de las carreras de velocidad, la dirección horizontal (antero-posterior) y la vertical son las de mayor interés. Existen dos sub-fases a partir del análisis de las fuerzas horizontales de GRF: 1) una sub-fase de frenado en la que la fuerza actúa en sentido posterior y ocurre normalmente al comienzo de la fase de apoyo; y 2) una sub-fase propulsiva, en la que la fuerza actúa en sentido anterior y se suele dar en la fase final del apoyo (11, 169).

En la fase de aceleración del sprint, la fase de apoyo está determinada, principalmente, por el componente propulsivo, con una mínima fuerza de frenado en el apoyo (150, 170). En la fase de máxima velocidad, el componente de frenado constituye, aproximadamente el 43–44% de la duración de la fase de apoyo (22).

Cuando se compara la producción de fuerza de la fase de aceleración con la de la fase de máxima velocidad, la fuerza media en la fase de frenado constituye el 11% en vertical y el 44% en horizontal, de los valores respectivos de la fase de máxima velocidad (157). Sin embargo, mientras que la fuerza vertical media respectiva durante la fase de propulsión es muy parecida, la fuerza horizontal durante la fase de aceleración es un 46% mayor que los valores de la fase de máxima velocidad (150). Este hecho se debe a que en la fase de aceleración el atleta produce fuerza durante mayor tiempo de contacto, y la fuerza de

propulsión media es elevada. Sin embargo, en la fase de máxima velocidad, la fase de apoyo es muy corta y las fuerzas de frenado son muy elevadas.

La literatura sobre carreras de velocidad contiene un número de hipótesis relativas a los distintos componentes de las GRF. Se ha recomendado que los velocistas debieran minimizar la fase de frenado (9, 22) y maximizar las GRF propulsivas (9) para aumentar el rendimiento. Además, se ha sugerido que, a máxima velocidad, la habilidad para producir una GRF media alta, con tiempos de contacto reducidos, es una ventaja (171).

Para la fase de aceleración se ha demostrado que existe una relativa, pero fuerte, tendencia en los velocistas más rápidos a producir grandes magnitudes de impulso propulsivo relativo al peso corporal (169). Estos resultados están en consonancia con los encontrados por Mero y Komi (22), los cuales mostraron una correlación positiva entre la GRF media durante la propulsión y la velocidad en el sprint para la fase de máxima velocidad. Hunter et al. (169) encontraron datos contradictorios al estudiar la relación entre la velocidad de carrera y el impulso de frenado relativo al peso corporal. La tendencia es que los atletas más rápidos produzcan magnitudes más bajas de impulso de frenado relativo al peso corporal (169).

La hipótesis establecida por Mero y Komi (22) y por Mero et al. (9) que afirma que se debe minimizar la fase de frenado para una mayor velocidad

horizontal. Esta afirmación se basa en la premisa de que una baja acción de frenado podría resultar en una baja pérdida de velocidad horizontal al comienzo de la fase de apoyo. Sin embargo, la falta de evidencias científicas ha hecho que los investigadores sean cautos en esta cuestión, pues, por otro lado se piensa que la fase de frenado podría ser beneficiosa para el rendimiento, ya que está involucrada en el ciclo de estiramiento acortamiento (CEA) (172). En resumen, y a pesar de que Hunter et al. (169) encontraron que el impulso de frenado relativo interviene mínimamente (7%) en la varianza del rendimiento de las carreras de velocidad, no se conoce si los atletas más rápidos minimizan su magnitud de frenado. Por lo tanto no se puede establecer que la acción de frenado ofrezca algunas ventajas.

Acerca de la relación con el impulso vertical, Hunter et al. (169) afirman que, durante la fase de aceleración, la magnitud más favorable de impulso vertical relativo al peso corporal es aquella que crea el tiempo de vuelo justo para la reposición del tren inferior. Los autores plantean que, en caso de que un atleta no pueda conseguir o mantener una alta frecuencia de zancada, éste puede compensarlo incrementando el impulso vertical (169). Sin embargo, consideran que, para la fase de aceleración, un gran impulso vertical positivo (notablemente mayor de 1 N·s) no será ventajoso.

Además, la literatura contiene la hipótesis sobre cómo un velocista puede reducir las GRF de frenado e incrementar las GRF de propulsión. Las GRF de

frenado pueden ser reducidas: a) realizando un apoyo activo a alta velocidad, es decir, minimizando la velocidad horizontal hacia delante del pie (relativa al suelo) inmediatamente antes del apoyo (5, 127); b) mediante una alta velocidad de extensión de la cadera de la extremidad de apoyo y una alta velocidad angular en flexión de la rodilla de la extremidad libre (127); y c) minimizando la distancia de aterrizaje (9). Hunter et al. (169) no encontraron relación estadísticamente significativa, con respecto a la minimización del impulso de frenado utilizando una alta velocidad de extensión de la cadera y de flexión de rodilla. Sin embargo, demostraron que el uso de un apoyo más activo y una menor distancia de aterrizaje producen a nivel estadístico un efecto de minimización de frenado.

Las GRF propulsivas se cree que se incrementan: asegurando una alta velocidad angular de la cadera de la extremidad de apoyo (127, 173); y por una extensión completa de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad de apoyo, en el despegue (5). Referente a la hipótesis que establece cómo la propulsión puede ser maximizada, Hunter et al. (169) demostraron que una extensión extra de la extremidad de apoyo en el despegue no se correlaciona con el incremento de la fuerza propulsiva. El uso de una alta velocidad media de extensión de la cadera correlaciona parcialmente con una alta propulsión.

Por último, y debido al alto componente propulsivo durante la fase de aceleración, se ha sugerido que la FDM es importante para dicha fase (9), principalmente bajo activación concéntrica (150). Se ha observado un aumento de

la GRF media en la fase excéntrica con el incremento de la velocidad. En la fase concéntrica se han observado incrementos medios de la GRF a partir de velocidades bajas hasta velocidades máximas, sin embargo a velocidades supra-máximas la GRF decrecen de forma no significativa. Este hecho ha llevado a concluir la importancia de la FDM tanto concéntrica como excéntrica en la fase de máxima velocidad (22).

Se ha documentado extensivamente que en diferentes deportes la interacción entre el atleta y las superficies (*compliance*) no rígidas, en las que se lleva a cabo la competición, tiene un efecto considerable sobre el rendimiento (174, 175). En general, las superficies no rígidas, como las utilizadas en las pistas de atletismo, pueden afectar sustancialmente a: a) el almacenamiento y el retorno de energía desde la superficie de la misma durante una habilidad motora (175-177); y b) la capacidad de producción de trabajo de los músculos implicados en la habilidad motora (177, 178).

De forma general, en pruebas de velocidad, se cree que las pistas con superficies muy duras mejoran el rendimiento. Esta creencia se basa en la idea de que las pistas duras incrementan el ratio de generación de GRF, y de esta forma el rendimiento. Sin embargo, tan sólo existe un trabajo (179) que demuestra que superficies de diferente rigidez no modifican el efecto sobre el rendimiento en el sprint (60 m). Las posibles razones de estos hallazgos son: a) los atletas no muestran ningún ajuste específico en los mecanismos del tren inferior debido a la

deformación mínima de la pista (cinemática y cinética similar en las articulaciones del tobillo y rodilla); y b) los beneficios de un alto almacenamiento y retorno de energía por la utilización de pistas más duras son mínimos, debido a que el almacenamiento de energía fue realmente menor al encontrado en el tejido conectivo del cuerpo humano.

b) Acción del viento

La acción del viento es un factor que influye sobre el rendimiento en pruebas de velocidad. Este hecho fue observado por la IAAF (*Federación Internacional de Atletismo Amateur*) al comprobar que la mayoría de récord en velocidad se realizaban bajo condiciones de gran viento favorable (180). Así, en el Congreso de la IAAF de 1936 se determinó que para que un record fuera reconocido de forma oficial, la velocidad del viento, en caso de ser favorable, debía ser inferior a  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Distintos estudios han modelado los beneficios del viento en distintas pruebas de velocidad (180-186). Por ejemplo, Linthorne (180) encontró que la ventaja de un viento favorable de  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  fue de  $0.10 \pm 0.01 \text{ s}$  para velocistas masculinos y de  $0.12 \pm 0.02 \text{ s}$  para velocistas femeninas, ambos de nivel internacional. Dapena y Felner (181) desarrollaron un modelo que explicaba que con un viento favorable de  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se conseguía una mejora del rendimiento de  $0.07 \text{ s}$ , mientras que con un viento en contra de  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se perdía  $0.085 \text{ s}$ .

Linthorne (180) concluyó que el tiempo de carrera aumenta de forma gradual cuando incrementa la velocidad del viento, de esta forma la desventaja del viento en contra es mayor, que el beneficio que produce el viento a favor.

### 2.3.2.3. *Cineantropometría*

Otro de los componentes que estudia la biomecánica del movimiento y que puede influir en el rendimiento del sprint es la cineantropometría (8). La cineantropometría es una disciplina científica que se ocupa de estudiar el tamaño, las proporciones, la composición del cuerpo humano y sus principales funciones (187). Esta disciplina aporta información de la estructura morfológica del deportista en un determinado momento y cuantifica las modificaciones causadas por el entrenamiento. Es por ello que los factores antropométricos constituyen uno de los parámetros que orientan la identificación de talentos en diversas modalidades deportivas (188). Los estudios realizados desde los Juegos Olímpicos de 1928 han mostrado la relación entre la modalidad deportiva que practica el individuo y el papel de la constitución física como un factor más de aptitud deportiva. En algunas modalidades se ha encontrado un claro prototipo físico exigido para alcanzar en un futuro a medio y largo plazo un óptimo rendimiento en el alto nivel deportivo (189). Sin embargo, en los 100 m.l. no se ha definido unas características antropométricas claras. Por ejemplo, el actual recordman mundial de los 100 m.l. (Usain Bolt = 9.69 s) tiene una talla de 1.96 m y una peso corporal de 86 kgf. Mientras que hace 5 años, las características

antropométricas del recordman mundial de los 100 m.l. (Maurice Greene = 9.79 s) eran totalmente diferentes (talla = 1.79 m; peso = 79 kgf).

#### 2.3.2.3.1. Composición corporal

La composición corporal supone uno de los pilares básicos de la cineantropometría, pues la capacidad del individuo para realizar cualquier tipo de esfuerzo está íntimamente relacionada con la mayor o menor presencia de sus tejidos corporales fundamentales. Por ejemplo, la masa de los segmentos corporales incide de forma directa en el torque producido por las articulaciones. Los tejidos corporales fundamentales del cuerpo son: masa grasa, masa ósea y masa muscular.

En estudios previos que abordan la relación entre la talla corporal y el rendimiento motor, uno de los aspectos más destacados fue la relación negativa entre el porcentaje de masa grasa y el tiempo en 50 yardas (190) o en 100 m.l. (191, 192). En un estudio en el que se comparó el porcentaje de grasa corporal en velocistas femeninas de distinto nivel, se observó que existen diferencias significativas entre las de mayor nivel con las de menor nivel (191), mostrando valores más altos aquellas de menor nivel. Por otro lado, en estudios más actualizados se han mostrado correlaciones positivas entre el desarrollo muscular del psóas mayor, relativo a la masa del cuadriceps femoral, con el rendimiento en 100 m.l. en velocistas júnior de ambos sexos (193).

#### 2.3.2.3.2. Arquitectura muscular

Las características de fuerza y velocidad del músculo están relacionadas con distintos factores antropométricos como la composición corporal, la arquitectura muscular, etc. Algunos autores como Kawakami et al. (194) destacan la importancia de la arquitectura muscular frente al resto.

La arquitectura muscular hace referencia al diseño geométrico que organiza las fibras musculares en el complejo músculo-tendinoso (194). La arquitectura muscular es sensible al entrenamiento y al desentrenamiento (17, 194). Las principales variables de arquitectura que se suelen considerar son: el volumen muscular, las áreas de sección transversal anatómicas y fisiológicas, el grosor muscular, el ángulo de peneación y la longitud de los fascículos (195). El tamaño muscular tiene influencia sobre el rendimiento en todos los tipos de músculos. En cambio, el ángulo de peneación y la longitud de los fascículos sólo tienen efecto sobre el rendimiento cuando se trata de músculos penniformes, como son el vasto lateral del cuádriceps o los gastrocnemios (195).

Algunos estudios han proporcionado evidencias de que, cuando se compara con población no deportista, los atletas adolescentes muestran un desarrollo prominente en los grupos musculares que usan principalmente en sus actividades deportivas y/o sus entrenamientos (196, 197). En velocistas júnior de elite se ha

observado una mayor área de sección transversal (CSA) en los músculos del muslo cuando se compara con población no atleta (198). Se han encontrado valores para velocistas de élite en la media de las circunferencias del muslo proximal, medial y distal de 52 cm, siendo estas significativamente menores a los de un grupo de powerlifters (55 cm), y significativamente mayores a la de un grupo de deportistas de resistencia (50 cm) (199). Sin embargo, poco se conoce en referencia al perfil muscular y su relación con el rendimiento competitivo.

La arquitectura muscular se ve afectada de forma diferente según la intensidad y el volumen del entrenamiento. Los deportistas de élite suelen presentar mayores tamaños musculares que los deportistas de niveles inferiores. Respecto a los ángulos de peneación y la longitud de los fascículos las diferencias van a depender del deporte. Así, dentro de una misma disciplina deportiva, se han encontrado diferencias en la arquitectura muscular en función del nivel. Kumagai et al. (200) al estudiar a velocistas de 100 m.l. encontraron diferencias significativas entre los de élite (100 m.l = 10.00–10.90 s) y los de nivel nacional (10.90–11.70 s). Los velocistas de élite mostraron mayores grosores musculares en el gastrocnemio lateral (GL), menores ángulos de peneación en el gastrocnemio medial (GM) y en el GL, y mayores longitudes de fascículos, tanto absolutas como normalizadas con la longitud del miembro, para los mismos grupos musculares.

El entrenamiento específico de cada modalidad deportiva produce modificaciones en la arquitectura del músculo con la finalidad de aumentar el

rendimiento en la dirección apropiada (201). En deportes de velocidad y de fuerza explosiva se han encontrado grandes tamaños musculares (aunque menores que en deportes de fuerza máxima), ángulos de peneación pequeños y longitudes de fascículos grandes. Abe et al. (201) encontraron mayores grosores musculares en corredores de velocidad de élite al compararlos con corredores de larga distancia de élite. En ángulos de peneación, observaron valores significativamente inferiores en corredores de velocidad que en corredores de larga distancia. Respecto a la longitud de los fascículos, estos autores encontraron mayores valores, tanto absolutos como normalizados, en los corredores de velocidad comparados con los corredores de larga distancia.

#### 2.3.2.4. *Mecánica músculo-articular. Efecto de la rigidez sobre el rendimiento*

Rigidez se define como la capacidad del sistema músculo-esquelético a resistir la deformación debida a la aplicación de una fuerza externa. Se obtiene de la relación fuerza  $\cdot$  longitud de un segmento<sup>-1</sup> (202). Se cree que la rigidez mecánica de la extremidad inferior del ser humano tiene una gran influencia sobre diferentes variables atléticas. Estas son: ratio de desarrollo de fuerza, almacenamiento y utilización de energía elástica, y la cinemática del sprint (reducción de los tiempos de contacto, etc.) (91, 203).

En la carrera, se puede diferenciar entre rigidez de la extremidad de apoyo y rigidez vertical. La rigidez de la extremidad de apoyo es el ratio de la fuerza

máxima aplicada hasta la máxima compresión de la extremidad justo en el instante  $T_{mid}$  (204). La rigidez vertical se describe a partir del desplazamiento vertical del COM durante el contacto (204, 205).

Principalmente está influenciada por la alineación del vector de fuerza de reacción del suelo con las articulaciones. Si la extremidad inferior está más extendida en el apoyo, el vector estará más alineado con las articulaciones, simultáneamente decrece el momento de la articulación y se incrementa la rigidez de la extremidad (206). Una alta rigidez está relacionada con la habilidad de absorber, almacenar y liberar la energía impuesta por la tensión mecánica del impacto y por el estiramiento brusco resultante. Una gran rigidez en el tren inferior puede activar el proceso de almacenamiento y liberación de energía, siempre que ocurra rápidamente (9, 91, 203). La rigidez, además, puede variar a consecuencia de la activación muscular (207, 208). Así, ésta se puede controlar dependiendo de la rigidez requerida para cada tarea motriz (204, 206).

La rigidez de la extremidad inferior influye en la mecánica y la cinemática de la interacción del cuerpo con el suelo (206). Parece ser que la rigidez en el tobillo es la clave determinante de la rigidez total de la extremidad inferior en la carrera, y ésta se adapta dependiendo de la magnitud del rebote (206).

En relación a la acción del sprint se ha observado que la rigidez aumenta cuando se incrementa la velocidad de carrera (209-211). De hecho, la rigidez del

tobillo es mayor en el sprint que en carreras a menor velocidad (212). Una gran rigidez de la extremidad inferior produce una disminución en los tiempos de contacto, además de una reducción de la oscilación vertical del COM durante la fase de contacto (213). A velocidades supra-máximas, la rigidez muscular decrece de forma significativa con respecto a velocidades máximas (22). Arampatzis, Brüggemann y Metzler (209) han sugerido que la relación existente entre la velocidad de carrera y la rigidez está causada por la necesidad de aumentar la rigidez por el aumento de la velocidad. Así, los sujetos que sean más rápidos producirán una mayor rigidez, descartando que la rigidez sea una característica específica de los velocistas. Estudios recientes han demostrado que los velocistas poseen una mayor rigidez en la extremidad inferior, al realizar saltos, cuando se compara con corredores de fondo. Este hecho parece indicar que la elevada rigidez músculo-esquelética es una característica específica de los velocistas (203). El aumento de la rigidez muscular de la extremidad de apoyo durante la fase excéntrica es mayor cuando la velocidad de carrera aumenta del 90% al 100% (22). Además, los valores encontrados en los velocistas de élite parecen ser mayores que en otro grupo de deportistas, o velocistas de menor nivel (22). Por otro lado, en la fase concéntrica, la rigidez es menor, y no decrece con el aumento de la velocidad de carrera (22).

Se necesita una pre-activación muscular con el fin de incrementar la rigidez de la pierna, y de esta forma, resistir grandes fuerzas de impacto al comienzo del contacto durante el sprint (9, 214). El incremento de la rigidez durante la fase de

frenado puede favorecer las condiciones para una buena acción de rebote en  $T_{\text{down}}$  en los sprints (215). Durante la carrera, se ha observado que la fase de frenado es muy corta y rápida para los músculos extensores de la rodilla y del tobillo. Debido a que el alargamiento de los músculos es corto, se puede asumir que la rigidez de la articulación, principalmente la del tobillo, es relativamente alta con el fin de evitar flexionar el mismo en la primera fase de contacto. Para conseguir este objetivo, uno de los principales requerimientos es una alta pre-activación de los músculos extensores de la pierna, observada en velocistas (216). En la fase de frenado, los reflejos contribuyen a la regulación de la rigidez en la rodilla y en el tobillo, y por lo tanto el control de la totalidad del trabajo negativo (216).

Cuando se observa la rigidez dentro de las fases de las carreras de velocidad, se han encontrado correlaciones significativas entre ésta y la fase de máxima velocidad y la fase de deceleración (9, 217).

#### 2.3.2.5. *Grupos musculares implicados*

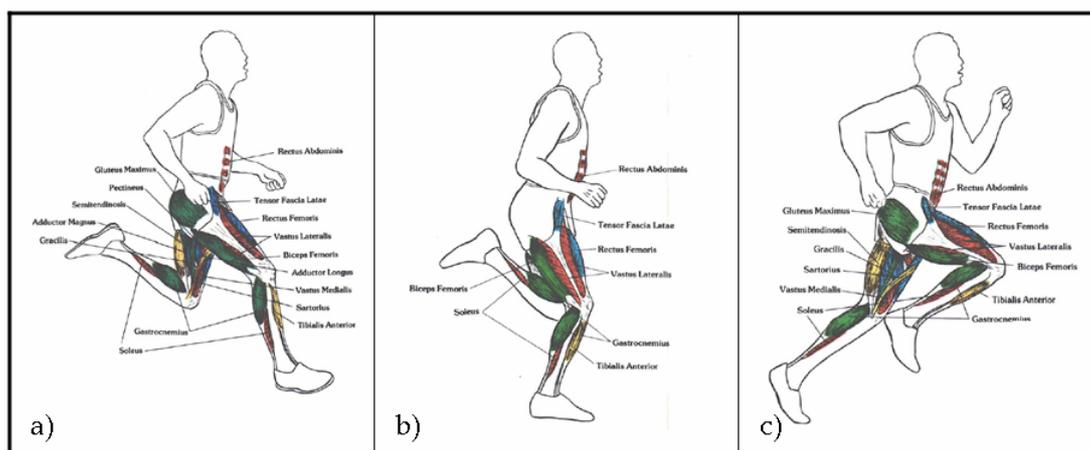
Debido a que el movimiento voluntario depende de la activación de los músculos, las diferentes modalidades del atletismo están relacionadas, e incluso son dependientes de la actividad neuro-muscular (218). Los sprints requieren de una secuencia compleja de activación muscular (145). Conocer los grupos musculares implicados en las carreras de velocidad es un factor biomecánico

determinante, por lo tanto, se va a realizar una breve descripción de los distintos grupos musculares relevantes que actúan en las distintas fases del sprint.

Los músculos más importantes responsables de la aceleración y de la máxima velocidad horizontal del cuerpo son el glúteo mayor, el aductor mayor, los isquio-tibiales y los extensores de rodilla (173). Durante la fase de aceleración, el vasto lateral muestra una mayor activación, en la sub-fase propulsiva, con respecto a la fase de máxima velocidad (173), acompañada de una disminución significativa de la activación de los isquio-tibiales. Los extensores de rodilla son el grupo muscular que más se activa durante esta fase (173).

En la fase de máxima velocidad los isquio-tibiales, el glúteo mayor y el aductor juegan un importante rol durante la sub-fase propulsiva (173, 214, 219), siendo los isquio-tibiales el grupo muscular que incide más en la velocidad de carrera (173, 219). Además, Mero y Komi (214) sugirieron que la actividad electromiográfica de los extensores de rodilla, durante el componente propulsivo de la fase de apoyo, en la fase de máxima velocidad, es mínimo. Por lo tanto, los principales grupos musculares que intervienen en la fase de aceleración durante el apoyo son los extensores de rodilla, mientras que los isquio-tibiales, y el glúteo mayor son los que intervienen de forma principal en la fase de máxima velocidad (Figura 13).

Se ha observado que durante la propulsión, la actividad electromiográfica es significativamente menor que durante la sub-fase de frenado (22). Algunos autores indican que este hecho se podría deber a la utilización de la energía elástica producida durante el componente de frenado (22). Además, se ha explicado que en los sprints, justo antes del contacto, se produce una gran pre-activación de los músculos extensores de la extremidad inferior (220). Probablemente, este hecho ayude a aumentar la rigidez muscular, en el impacto con el suelo (207, 208).



**Figura 13.** Grupos musculares implicados en la fase de apoyo (a = instante anterior al apoyo; b) instante de apoyo medio; y c) instante previo al despegue) del sprint a máxima velocidad (221). Modificado.

Una vez se han descrito los factores biomecánicos más importantes de las carreras de velocidad se va a realizar una revisión sobre los componentes que

intervienen en el entrenamiento del sprint, así como sus medios y métodos de entrenamiento.

#### 2.4. EL RENDIMIENTO EN EL SPRINT

La mejora del rendimiento humano se produce por medio del entrenamiento deportivo, además de por otros factores. Asimismo, el entrenamiento deportivo se ha mostrado como uno de los aspectos que más influye sobre el rendimiento en el sprint (12-17). A continuación se van a explicar los aspectos más importantes del entrenamiento en las carreras de velocidad como son: los objetivos, los medios y los métodos del entrenamiento.

##### 2.4.1. El entrenamiento

Distintos autores han definido ampliamente el concepto de entrenamiento a lo largo de las últimas décadas (222, 223). De forma general, se podría resumir como un proceso sistemático y planificado que tiene la finalidad de incrementar, estabilizar y en parte también reducir (“desentrenamiento”) el rendimiento deportivo (224). A grandes rasgos los objetivos del entrenamiento son: a) lograr y aumentar un desarrollo global y físico; b) incrementar la condición física específica de cada deporte; y c) mejorar la técnica, táctica y la estrategia, etc. (161).

Los objetivos del entrenamiento deportivo se desarrollan por medio de los ejercicios o contenidos del entrenamiento. Los contenidos del entrenamiento (ejercicios) son la estructuración concreta del entrenamiento enfocada hacia el objetivo planteado. Dado que, en el proceso de entrenamiento, el ejercicio constituye la forma de trabajo primordial para desarrollar la capacidad de rendimiento deportivo, las formas de ejercicio se sitúan en un primer plano a la hora de configurar los contenidos del entrenamiento. De su correcta elección depende el grado de mejora de la capacidad de rendimiento (225).

La elección de las diferentes formas de ejercicio tiene lugar de acuerdo con los principios de idoneidad, de economía y de eficacia (226). Se distingue entre: ejercicios para el desarrollo general, ejercicios específicos y ejercicios de competición. Los ejercicios generales no guardan relación con el gesto técnico en cuanto a volumen y dinámica. Por ejemplo, saltos con ambas piernas desde cuclillas, en relación con los ejercicios de salida de sprint. Se utilizan, principalmente, en la fase de preparación general (227). Los ejercicios específicos contienen determinados elementos del gesto técnico, coincidiendo, también, bastante con el mismo en cuanto a la dinámica. Por ejemplo, impulsiones horizontales, en comparación con la carrera del sprint. Deben realizarse durante todo el año, aunque de forma predominante, durante la fase de preparación específica. Por último, los ejercicios competitivos son casi idénticos al gesto técnico. Por ejemplo, sprints lanzados (224). Se utilizan en el fase de preparación competitiva (228).

En la Tabla 7 se pueden observar distintas clasificaciones de ejercicios basados en la mayor o menor similitud del ejercicio con la competición de la manifestación deportiva que se quiera desarrollar.

**Tabla 7.** Clasificación de los ejercicios según diferentes autores.

| <b>Matveiev (223)</b>                 | <b>Harre (226)</b>      | <b>Colli et al. (229)</b>               |
|---------------------------------------|-------------------------|---|
| <b>Ej. Competitivos</b>               | <b>Ej. Competitivos</b> | <b>Ej. Competición</b>                  |
| Competición<br>Simulación competición |                         | Variado<br>Estándar                     |
| <b>Ej. Preparatorios Especiales</b>   | <b>Ej. Especiales</b>   | <b>Ej. Especiales</b>                   |
| De iniciación<br>De desarrollo        |                         | Naturaleza condicionante<br>Aprendizaje |
| <b>Ej. Preparatorios Generales</b>    | <b>Ej. Generales</b>    | <b>Ej. Generales</b>                    |
|                                       |                         | No orientados<br>Orientados             |

Ej. = ejercicios

Para un desarrollo óptimo de los objetivos del entrenamiento se necesitan los correspondientes estímulos de carga. Ya que, para optimizar la carga de cada sesión de entrenamiento o del total de sesiones, se necesita conocer al detalle los componentes individuales de dicha carga y su interacción compleja en el desarrollo de la capacidad de rendimiento deportivo. En la interacción compleja con los objetivos, contenidos, medios y métodos de entrenamiento, la estructura

global de los componentes de la carga caracteriza la carga global realizada en el entrenamiento deportivo desde el punto de vista cuantitativo y cualitativo, determinando así la especificidad de cada entrenamiento. Se distinguen entre: intensidad, densidad, duración, volumen y frecuencia (225).

**Tabla 8.** Componentes de la carga de entrenamiento (224).

| Componente        | Descripción  | Ejemplo  |
|-------------------|--|--|
| <b>Intensidad</b> | Indica el nivel del estímulo, su fuerza o también la implicación que el deportista muestra en un esfuerzo.   | Altura y distancia (m), velocidad ( $m \cdot s^{-1}$ ), tamaño de la resistencia (kgf, Watios)   |
| <b>Densidad</b>   | Caracteriza la relación entre carga y recuperación en una sesión de entrenamiento.   | Dos funciones en el proceso de adaptación:<br>1) eliminar el cansancio (recuperación completa),<br>2) permite procesos de adaptación (recuperación eficaz) |
| <b>Duración</b>   | Es el tiempo que un contenido de entrenamiento tiene efecto sobre el organismo como estímulo motriz. Depende del contenido y objetivo del entrenamiento. | En el entrenamiento de la velocidad, la duración del estímulo sólo puede mantenerse mientras la intensidad máxima de excitación se puede conservar.        |
| <b>Volumen</b>    | Es la cantidad total de estímulos de carga en una sesión de entrenamiento o bien a lo largo de fases de entrenamiento (microciclos y macrociclos).       | Número de estímulos máximos y/o sub-máximos y frecuencias de entrenamiento.  |
| <b>Frecuencia</b> | Número de sesiones de entrenamiento que se aplican en el tiempo, normalmente en una semana (~ microciclo).   | Sesiones de fuerza máxima realizadas por microciclo.   |

#### 2.4.2. El entrenamiento en el sprint

El entrenamiento del sprint es un proceso sistemático y planificado que tiene el objetivo principal de mejorar el rendimiento en el sprint. Está

determinado por la capacidad de acelerar, conseguir la máxima velocidad, y mantener esta máxima velocidad retrasando la fatiga. El rendimiento en estas fases está influenciado, a su vez, por factores biomecánicos, fisiológicos y psicológicos. Por ejemplo, mejorar la activación muscular y/o aumentar el reclutamiento de las fibras de contracción rápida puede permitir un rendimiento superior en esta modalidad atlética.

El carácter multidimensional del sprint hace que distintos autores recomienden una combinación del entrenamiento general y específico para desarrollar todos los factores que contribuyen en el desarrollo del mismo (230-232). Así los objetivos principales del entrenamiento en el sprint serán aquellos que impliquen una mejora en los factores que inciden en las distintas fases del sprint.

Debido a que la velocidad máxima de carrera es el factor más importante en el sprint (21, 122), se debe segmentar los factores que la producen (tanto biomecánicos como fisiológicos) para establecer los objetivos de entrenamiento (Figura 14).



**Figura 14.** Componentes que inciden en el rendimiento del sprint (91). En *cursiva* aquellos factores no entrenables.

Antes de explicar los factores a considerar en el entrenamiento del sprint se van a aclarar algunos conceptos que inciden directa o indirectamente en el aumento del rendimiento de las carreras de velocidad. Estos son el *principio de especificidad en el sprint* y la *barrera de velocidad*.

#### 2.4.2.1. Principio de especificidad del entrenamiento

El principio de especificidad del entrenamiento indica que las adaptaciones de los atletas son específicas a la naturaleza del régimen del entrenamiento

realizado (233). Sale y MacDougall (234), sugieren que el entrenamiento debe ser específico en términos de patrón de movimiento, velocidad de contracción, tipo de contracción y fuerza de contracción. Debido a las características de intensidad máxima del sprint, este principio es determinante en esta modalidad atlética (91).

El problema surge cuando el principio se lleva al máximo extremo, pues de esta forma, todos los entrenamientos deberían imitar las demandas de competición. Se sabe que el entrenamiento específico es beneficioso para el rendimiento a corto plazo y en deportistas entrenados. Por el contrario, éste puede producir resultados negativos como el sobreentrenamiento, desequilibrio muscular, incremento del riesgo de lesiones, así como aburrimiento a largo plazo si se utiliza continuamente (222). De ahí que en el entrenamiento del sprint se combinen métodos de entrenamiento general, específico y competitivo a lo largo de la temporada (19).

Además, se debe destacar que el principio de especificidad del entrenamiento es más relevante en relación al nivel de experiencia de entrenamiento y rendimiento (235). Es decir, al comienzo de las etapas de formación se aconseja entrenamiento general, mientras que según va aumentando la experiencia de los deportistas se recomienda un aumento de la especificidad en el entrenamiento de los mismos.

#### 2.4.2.2. *Barrera de velocidad en el sprint*

El entrenamiento específico es beneficioso para el rendimiento a corto plazo y en deportistas entrenados. Sin embargo éste puede producir resultados negativos, sobre todo si se usa de forma continuada. De hecho, se cree que en el sprint, el uso de entrenamiento continuado, principalmente de métodos interválicos y de repeticiones, puede producir la conocida “barrera de velocidad”. De acuerdo con Ozolín (236), la “barrera de velocidad” es un patrón del sistema nervioso que se desarrolla como resultado del uso de un entrenamiento similar con cargas de entrenamiento parecidas durante un tiempo prolongado. Es decir, los atletas “aprenden” a correr a una velocidad específica y son incapaces de mejorar. Existen distintos tipos de ejercicios que ayudan a evitar la barrera de velocidad, estos son los métodos resistidos y asistidos, así como los sprints variando la intensidad y duración (45, 236).

#### 2.4.2.3. Factores a considerar en el entrenamiento del sprint

Tal y como se muestra en la Figura 14, el rendimiento en el sprint se puede determinar por el producto de la frecuencia y la amplitud de zancada. Además, existen numerosos factores que influyen en esta “aparente” simple fórmula. Tradicionalmente, el rendimiento en el sprint se ha relacionado con factores genéticos, otorgando poca importancia a las mejoras que producía el entrenamiento (237). Concretamente, se ha creído que poseer un alto porcentaje de fibras musculares de contracción rápida era el factor más determinante en el

éxito del sprint (117). Se pensaba, de esta forma, que las adaptaciones enzimáticas, así como la hipertrofia de los principales grupos musculares eran las responsables de las mejoras post-entrenamiento. Sin embargo, recientes trabajos sugieren que las adaptaciones enzimáticas o los cambios en las proteínas contráctiles no están siempre asociadas a mejoras significativas en el sprint (238, 239). Está claro que se requiere de otros mecanismos de adaptación, sobre todo de tipo neuromuscular, para aumentar el rendimiento en los sprints (28, 91, 219, 220, 240). A continuación se explican brevemente los factores a considerar en el entrenamiento del sprint.

#### 2.4.2.3.1. Flexibilidad

La flexibilidad permite al atleta mover las extremidades a lo largo del ROM sin impedimentos. Esto sirve para hacer el ROM más fluido y eficiente permitiendo un aumento de la amplitud y frecuencia de zancada (241). La flexibilidad estática se utiliza para la mejora de la flexibilidad en general. Sin embargo, el objetivo principal en el sprint debe ser el de trabajar la flexibilidad dinámica (89).

#### 2.4.2.3.2. Coordinación inter-muscular

La mejora de la coordinación de los músculos implicados en un movimiento deportivo se ha denominado coordinación inter-muscular (242). La coordinación inter-muscular se ha considerado como un factor muy importante en el

rendimiento en el sprint (91, 233). Por ejemplo, al realizar entrenamiento de musculación, se pueden producir transferencias positivas o negativas al sprint (243). La transferencia negativa se produce si el entrenamiento provoca un incremento de la co-activación de los músculos antagonistas, pues pueden producir fuerza opuesta a la dirección del movimiento deseado (244). La transferencia positiva se puede producir si el entrenamiento de musculación fortalece los patrones de activación muscular óptima que se requiere en la ejecución de la habilidad deportiva (243). Esto se puede conseguir por un incremento de la excitación de la activación neural de los grupos musculares que contribuyen al rendimiento y/o por una inhibición de los músculos que pueden degradar el rendimiento (243). Aparte del descenso de la co-activación de los antagonistas, la transferencia puede ser desarrollada por una mejora entre la interacción de los sinergistas (245). En otras palabras, en un movimiento complejo como el sprint, se activan diferentes grupos musculares en un instante y a una intensidad apropiada con el fin de maximizar la velocidad. La optimización temporal de activación muscular de los músculos antagonistas y agonistas permite descender la co-activación en el momento apropiado de activación, y de esta forma mejora la velocidad de movimiento (91).

#### 2.4.2.3.3. Potencia

Los factores que influyen de forma principal en el desarrollo de la potencia muscular son: a) la fuerza muscular; b) la coordinación intra-muscular,

incluyendo aquí el tipo de fibras musculares; c) la rigidez músculo-articular; y d) el ciclo de estiramiento acortamiento (91). A continuación se explican brevemente. Además, se explicará la influencia de dichos factores sobre la potencia y, como consecuencia, en el sprint.

#### Fuerza muscular

En los últimas décadas se ha remarcado extensivamente la importancia del entrenamiento combinado de la velocidad tanto con la fuerza máxima (FDM) como con la potencia (13, 19, 23, 25, 26, 70, 71, 128, 160, 191, 246-252) para aumentar el rendimiento en el sprint. Se ha demostrado que existe una alta correlación entre FDM y potencia (24, 253-255). La fuerza pico está más relacionada con la potencia en términos generales. La capacidad para generar fuerzas pico con cargas pesadas es un atributo más importante para maximizar la producción de potencia que la habilidad de generar velocidades pico con cargas ligeras (170). Por ejemplo, Baker (256) encontró que conforme aumentaba la carga externa en dos grupos de jugadores de rugby de distintos niveles, las diferencias en la potencia desarrollada eran mayores. El autor expone que cuando la masa a desplazar o la fuerza es baja la velocidad debe contribuir más a la producción de potencia. Sin embargo, cuando se incrementa la resistencia externa, la fuerza parece ser más importante para la producción de la potencia que la velocidad (256, 257).

Por otro lado, cuanto mayor es el entrenamiento específico de potencia y la experiencia de los deportistas, se observa que los niveles de potencia son mayores, aún teniendo niveles de fuerza y de peso corporal similares (254).

Distintos estudios demuestran que existen distintas cargas óptimas para el entrenamiento de la potencia para los diferentes momentos del ciclo de entrenamiento (253). Según los deportistas se hacen más fuertes y más potentes, la carga que maximiza la producción de potencia se reduce cuando se expresa como porcentaje de 1-RM. Esto es debido a que al inicio del periodo de entrenamiento, los deportistas incrementan la potencia por un incremento de la carga, mientras que mantienen la velocidad de ejecución. Sin embargo, cuando se consigue los niveles máximos de fuerza, y es muy difícil conseguir mayores ganancias, es poco probable que se incremente la potencia gracias a un aumento de la carga. De esta forma, la potencia se incrementa aumentando la velocidad de ejecución (256).

La combinación de entrenamiento de FDM y de potencia incrementa el rendimiento en distintas variables, como pueden ser saltos verticales o sprints de 30 m, más que un entrenamiento aislado de FDM o de potencia (70, 258). Las adaptaciones del grupo de entrenamiento combinado sugieren que los componentes neurales/elásticos son responsables tanto para las mejoras de fuerza máxima como de potencia, debido a que no se producen diferencias en la composición corporal (masa muscular) (258). Por lo tanto, el entrenamiento utilizando, una combinación de ejercicios de fuerza máxima y de potencia

máxima puede resultar en adaptaciones beneficiosas para un desplazamiento de la curva de F-V hacia la derecha, y en consecuencia, una mejora en una amplia gama de habilidades deportivas (258-261), incluido el sprint. En la Figura 15 se pueden observar valores de referencia de fuerza y potencia en deportistas de potencia.

| Variable                           | Power lifters   | Olympic lifters | Sprinters       | Controls        |
|------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| <i>CBW</i>                         |                 |                 |                 |                 |
| Peak force (N)                     | 1,854.2 ± 49.4  | 2,022.9 ± 58.8  | 1,924.9 ± 57.2  | 1,741.0 ± 49.8  |
| Peak velocity (m·s <sup>-1</sup> ) | 2.86 ± 0.07     | 3.18 ± 0.08     | 3.17 ± 0.08     | 2.68 ± 0.07     |
| Peak power (W)                     | 4,447.1 ± 192.0 | 5,377.8 ± 228.2 | 4,906.2 ± 222.1 | 3,737.7 ± 193.6 |
| Jump height (cm)                   | 39.7 ± 2.3      | 48.2 ± 2.8      | 49.9 ± 2.7      | 33.7 ± 2.3      |
| <i>C20</i>                         |                 |                 |                 |                 |
| Peak force (N)                     | 2,036.1 ± 42.3  | 2,226.0 ± 50.3  | 2,012.9 ± 48.9  | 1,867.8 ± 42.7  |
| Peak velocity (m·s <sup>-1</sup> ) | 2.55 ± 0.06     | 2.89 ± 0.07     | 2.83 ± 0.07     | 2.41 ± 0.06     |
| Peak power (W)                     | 4,452.4 ± 146.1 | 5,386.4 ± 173.7 | 4,809.3 ± 169.1 | 3,789.6 ± 147.4 |
| Jump height (cm)                   | 30.4 ± 1.4      | 35.6 ± 1.7      | 36.5 ± 1.7      | 25.8 ± 1.5      |
| <i>C40</i>                         |                 |                 |                 |                 |
| Peak force (N)                     | 2,190.8 ± 34.0  | 2,357.0 ± 40.4  | 2,140.7 ± 39.3  | 1,981.4 ± 34.3  |
| Peak velocity (m·s <sup>-1</sup> ) | 2.25 ± 0.05     | 2.48 ± 0.06     | 2.51 ± 0.06     | 2.10 ± 0.05     |
| Peak power (W)                     | 4,301.0 ± 144.9 | 5,050.0 ± 172.3 | 4,747.4 ± 167.6 | 3,631.7 ± 146.1 |
| Jump height (cm)                   | 22.1 ± 1.1      | 26.4 ± 1.3      | 27.3 ± 1.3      | 18.2 ± 1.1      |

**Figura 15.** Valores de fuerza, velocidad y potencia pico, así como la altura de salto al realizar un CMJ sin carga (CBW), con una sobre-carga de 20 kg (C20) y con una sobre-carga de 40 kg (C40), en un grupo de power-lifters, olympic-lifters, velocistas (sprinters) y un grupo control (246). Tomado sin modificaciones.

Los métodos más comunes para el desarrollo de la fuerza y la potencia son:

- levantamiento de pesos libres mediante ejercicios dinámicos;
- mediante ejercicios isométricos o isocinéticos;
- y c) ejercicios de salto (28, 47).

El criterio más importante para la selección de un método en relación a la cualidad a trabajar es la especificidad (262).

### Coordinación intra-muscular

La coordinación intra-muscular hace referencia a las adaptaciones de tipo neural en un músculo aislado (242). Incluyen el reclutamiento, el ratio de disparo, la sincronización, y el reflejo de potenciación de las unidades motoras (242, 245), así como el descenso de la inhibición a partir de cargas excéntricas durante el CEA con el fin de optimizar la rigidez músculo-articular (263). McBride et al. (264) indican que los factores implicados en la coordinación intra-muscular deben influir menos en el rendimiento del sprint que los implicados en la coordinación inter-muscular, reforzando la importancia del principio de especificidad de entrenamiento para la transferencia al rendimiento del sprint (233).

El reclutamiento de las fibras de contracción rápida parece ser uno de los factores que más incrementan la potencia y en consecuencia el rendimiento en los velocistas (91). Éste hecho ha sido examinado bajo diferentes condiciones (265-268). Existen evidencias de que se produce un mayor reclutamiento con ejercicio de tipo excéntrico (265) y este reclutamiento podría ser beneficioso para el sprint. Sin embargo, con el ejercicio concéntrico a alta velocidad no se ha observado esta tendencia (267). Por el contrario, un estudio transversal ha demostrado que los velocistas tienen una habilidad, significativamente mayor, para reclutar mayor número de fibras de contracción rápida que corredores de resistencia o sujetos desentrenados (266). No obstante, los autores (266) limitan su investigación a un

único músculo (tibial anterior), y aportan pocos detalles sobre el tipo de activación muscular realizada. De esta forma es difícil confirmar la validez de los resultados. Los métodos de entrenamiento usados para aumentar la coordinación intra-muscular son similares a los utilizados para el desarrollo de fuerza.

#### Rigidez músculo-articular

La rigidez del sistema músculo-esquelético puede afectar el uso del CEA en relación al almacenamiento y el uso de la energía elástica (9, 91, 203). La rigidez se ha correlacionado fuertemente con la máxima velocidad de carrera, así como con la resistencia a la velocidad (211, 217, 269). Parece claro que un sistema rígido puede tener implicaciones positivas para la carrera, como un incremento en la producción de fuerza en el contacto, resultando en un descenso del tiempo de contacto, así como un aumento en la GRF pico (91). Sin embargo, no se han encontrado estudios que determinen cómo desarrollar la rigidez músculo-articular a corto, medio o largo plazo sobre el sprint.

#### Ciclo de estiramiento acortamiento

De forma resumida, el ciclo de estiramiento acortamiento (CEA) hace referencia a la combinación de acciones excéntricas, producidas por la acción de fuerzas de impacto o estiramiento, con concéntricas, durante la mayoría de las actividades deportivas (270). El objetivo principal del CEA es el desarrollo del

rendimiento en la parte final de la acción (acción concéntrica) cuando se compara con una acción concéntrica aislada (270). Esta secuencia muscular incluye algunas características de pre-activación y activación variable (270). Sin embargo, el mecanismo principal que interviene en el aumento del rendimiento es el almacenamiento y reutilización de la energía elástica producida en la fase excéntrica del movimiento (271). La importancia del CEA en actividades explosivas como los sprints ha sido demostrada (272, 273).

Los principales ejercicios usados para mejorar el CEA son los llamados ejercicios pliométricos (274). Éstos juegan un rol importante en los programas de entrenamiento de los velocistas (275). La pliometría es un tipo de entrenamiento que desarrolla la capacidad muscular para producir fuerza a alta velocidad en movimientos dinámicos. Están caracterizados por utilizar el CEA (276). Los ejercicios pliométricos incluyen saltos verticales (CMJ's, DJ's, etc.) y saltos horizontales (segundos de triple, impulsiones, etc.). Se ha observado que la utilización de este tipo de ejercicios es tan efectiva o más que un entrenamiento de velocidad en jugadores de rugby júnior de elite nacional para aumentar el rendimiento en 40 m (276). Delecluse et al. (27) mostró un incremento en el rendimiento en 10 m y 100 m.l. tras aplicar un entrenamiento pliométrico en velocistas.

En la Tabla 9 se pueden observar valores de referencia de distintos saltos verticales en diferentes tipos de población. Se puede observar cómo los velocistas son los deportistas que obtienen valores mayores.

**Tabla 9.** Altura del COM en saltos verticales al realizar un SJ y CMJ en distintos tipos de población (53, 260, 277-279).

| Población               | SJ (cm) | CMJ (cm) |
|-------------------------|---------|----------|
| Estudiantes de E.F. ♂   | 35      | 40       |
| Estudiantes de E.F. ♀   | 19      | 23       |
| Velocistas élite ♂      | 41-47   | 49-50    |
| Jugadores Voleibol ♂    | 37      | 43       |
| Jugadores de Baloncesto | 30      | 32       |
| Weighth-lifters         | 46      | 48       |

Se ha demostrado que existe una correlación alta entre los distintos saltos verticales y las fases del sprint (117, 170, 214, 253, 280). Por ejemplo, alguno de estos estudios indica que la potencia concéntrica máxima generada con un SJ correlaciona de forma positiva con los primeros 5 m del sprint en deportistas de deportes colectivos (170). En velocistas de categoría júnior se ha encontrado que el mejor predictor de rendimiento para la salida de velocidad (medido a partir del tiempo en los primeros 2.5 m) es la fuerza pico (relativa al peso corporal) durante un SJ con sobre-carga de 19 kg, realizado, además, con una angulación inicial en la rodilla de 120°. Para la fase de transición (15-30 m) se ha encontrado una alta correlación entre el CMJ, tanto en estudiantes de educación física (280) como en velocistas de nivel regional y nacional (217). Por último, para la fase de máxima velocidad, se ha observado una alta correlación entre la altura del COM al realizar

un DJ desde una altura de 50 cm y la máxima velocidad de carrera (117). Young et al. (281) encontró, además, que el mejor predictor de la máxima velocidad es la fuerza generada después de los 100 ms desde el comienzo de un salto concéntrico con una carga de 9 kg. Por lo tanto, gracias a estos test de salto, además de conocer el efecto sobre las manifestaciones de la fuerza que están correlacionadas con los mismos, podemos determinar la posible relación con las fases del sprint.

#### 2.4.2.3.4. Técnica

Se ha observado que existen diferencias en la técnica de carrera cuando se comparan atletas de nivel internacional con respecto a los de nivel nacional. Los atletas de nivel internacional poseen una amplitud y frecuencia de zancada mayor (100), tiempos de contacto menores (21, 59, 121), un ángulo de extensión de la cadera en el despegue menor (21), la velocidad angular del muslo en la fase de apoyo y de la pierna en  $T_{down}$  es más alta (21), la distancia de aterrizaje es más reducida y la velocidad del pie relativa al cuerpo en el impacto es mayor (21). Algunas de las diferencias observadas podrían ser el resultado de un mayor refinamiento de los patrones de inervación neural o de los programas motores a consecuencia de una historia de entrenamiento extensiva de los atletas de mayor nivel (91). Sin embargo, las diferencias descritas se han observado en estudios transversales, por lo tanto, la importancia relativa de influencias genéticas o del entrenamiento permanece sin resolver. Esta cuestión puede ser resuelta,

únicamente, a través de un detallado análisis longitudinal que describa las adaptaciones de la técnica de carrera al entrenamiento.

Algunos de los métodos para el entrenamiento de la técnica de carrera son los ejercicios de técnica de carrera propiamente dichos, ejercicios de amplitud y frecuencia de zancada y ejercicios variando distancias e intensidades.

#### 2.4.2.3.5. Fatiga

La fatiga es un proceso que incide de forma negativa sobre el rendimiento humano. Se caracteriza por un descenso de la producción de fuerza y por la imposibilidad para desarrollar de forma constante los niveles de ejercicio a una intensidad requerida. Normalmente, se produce por la alteración de diferentes mecanismos, como son: el metabolismo y/o el sistema nervioso.

#### Fatiga metabólica

La fatiga metabólica hace referencia a la imposibilidad muscular de producir energía por la depleción del sustrato requerido. Hirvonen et al. (282) han sugerido que el rendimiento en el sprint depende de la capacidad de usar fosfágenos de alta energía (ATP y PCr) al comienzo del ejercicio. En el trabajo muscular supra-máximo, el almacén de PCr es deplecionado después de 5-7 s. Si el trabajo continúa, el rol de la glucólisis se incrementa de forma importante para

la producción de energía (282). La fatiga metabólica, que aparece después de 5-7 s en los sprints máximos, se debe a que el ratio de producción de energía se reduce debido a la falta de aporte energético desde los almacenes de fosfágenos en el músculo (282).

#### Incremento de la acidosis

La glucólisis es otra de las vías energéticas que contribuye de forma predominante en la producción de energía durante 10 s de ejercicio máximo dinámico (282). De hecho, la glucólisis debe contribuir entre el 55 y 75% de la producción de la energía metabólica durante sprints de hasta 10 s (283-285). En la fatiga producida por el incremento de la acidosis no se produce una depleción completa del sustrato requerido. Sin embargo, los productos de deshecho que se originan en esta vía metabólica (ácido láctico) actúan en los sensores musculares del grupo III y IV. Este hecho puede inhibir las rutas reflejas limitando potencialmente la contribución del CEA en la carrera, según el ácido láctico alcanza ciertos niveles (286).

#### Fatiga neural

La fatiga neural es un factor potencialmente limitante durante (fatiga aguda), y tras un periodo de entrenamiento (fatiga crónica) con sprints a máxima intensidad (91). El origen de la fatiga del sistema nervioso central o neural se ha

definido como una reducción involuntaria de la activación muscular voluntaria (287). La localización exacta de la fatiga neural es difícil de establecer. Sin embargo, existe un número de posibilidades incluyendo el fallo supra-espinal, la inhibición aferente segmental, la depresión de la excitabilidad de las motoneuronas y la pérdida de excitación en puntos del sistema nervioso (91). La fatiga en los enlaces neuromusculares podría producir una disminución en la activación muscular completa durante los sprints (91).

En una carrera de 100 m.l. se puede observar la fatiga aguda a través del descenso de la máxima velocidad en la parte final de carrera (Figura 1, pág. 61). Normalmente, este descenso del rendimiento se produce por una disminución de la frecuencia de zancada (100), ya que la frecuencia de zancada está determinada principalmente por factores neurales (91). Con el fin de trabajar este aspecto se ha desarrollado un método de entrenamiento llamado "*in and outs*". En este método se alternan fases a máxima intensidad con fases a sub-máxima intensidad. Lo que se pretende con este método es permitir al sistema nervioso descansar en las fases sub-máximas, con el fin de trabajar la máxima velocidad en las máximas.

En contraste con la fatiga aguda, la fatiga crónica neural continúa una vez se ha cesado el entrenamiento a máxima intensidad. La fatiga neural crónica y su proceso ha sido citada por los entrenadores como un factor a considerar al planificar el tiempo y la frecuencia de las sesiones de máxima velocidad (288). Sin embargo, no existe investigación científica relativa a este tema, probablemente

por la dificultad de medir la activación máxima neural en una actividad tan compleja como el sprint (91).

#### 2.4.2.4. *Métodos y medios para el entrenamiento del sprint*

Una vez se han explicado los factores que influyen en el rendimiento del sprint, se deben describir los métodos y medios usados para el desarrollo de los mismos. Para ello, se va a abordar este punto a partir de las clasificaciones de ejercicios usados en el entrenamiento de la velocidad.

Los métodos de entrenamiento de la velocidad se han clasificado de diferentes formas: generales, específicos y competitivos (224); asociados, elásticos y de ritmo (33); etc. Una de las más completas corresponde a la de Plisk (44), que los divide en métodos primarios, secundarios y terciarios de entrenamiento, dependiendo de la especificidad con el movimiento del sprint (a continuación se van a describir brevemente) (se realizará un análisis más profundo en los apartados dedicados según la clasificación utilizada).

Los métodos primarios de entrenamiento se centran en el trabajo de técnica de carrera. Algunas de las características de estos métodos son: se suelen usar a lo largo de la temporada, normalmente a velocidad sub-máxima, con el fin de permitir al atleta que desarrolle la mecánica correcta. Una vez se ha alcanzado el nivel deseado, los ejercicios se realizan a máxima intensidad (44).

Los métodos secundarios son los llamados métodos resistidos y asistidos. Según el autor, los métodos asistidos se recomiendan para la mejora de la frecuencia de zancada. En cambio, los métodos resistidos se utilizan para la mejora de la fuerza-velocidad y de la amplitud de zancada (44).

Por último, los métodos terciarios incluyen acondicionamiento básico, entrenamiento de fuerza y potencia, y de resistencia a la velocidad. El entrenamiento de acondicionamiento con el fin de mejorar la resistencia, la movilidad y la fuerza máxima. Con la aplicación de este tipo de métodos se permitirá realizar los ejercicios de velocidad de forma efectiva y saludable.

**Tabla 10.** Ejemplos de métodos para el entrenamiento del sprint (3, 9, 19, 25, 26, 30-40).

|                            | <b>Método</b>  |
|----------------------------|--|
| <b>Métodos Primarios</b>   | Técnica de carrera<br>Ejercicios de amplitud y frecuencia de zancada<br>Sprints a ritmo variado  |
| <b>Métodos Secundarios</b> | Entrenamiento resistido<br>Entrenamiento asistido  |
| <b>Métodos Terciarios</b>  | Métodos interválicos y repeticiones<br>Autocargas<br>Entrenamiento de musculación<br>Pliometría (SJ, CMJ, DJ)<br>Multilanzamientos<br>Multisaltos<br>Entrenamiento vibratorio<br>Electroestimulación<br>Entrenamiento de Flexibilidad<br>Zapatillas "Meridian" |

A continuación se detallan las características de cada tipo de método.

#### 2.4.2.4.1. Métodos primarios

Los métodos primarios de entrenamiento del sprint se centran en el trabajo de técnica de carrera (44). La técnica de carrera es imprescindible en el sprint debido a que la velocidad nunca aparece como capacidad aislada, sino que siempre constituye una característica de un rendimiento deportivo (224). Además, una técnica de carrera correcta previene lesiones producidas por adoptar posiciones incorrectas de forma continuada (30). En la práctica esto significa lo siguiente: a) la velocidad ha de entrenarse, por un lado, con la técnica específico-deportiva; y b) por otro lado, sólo un alto nivel técnico puede dar lugar a la máxima expresión de la capacidad de velocidad (224). De hecho, un atleta puede correr tan rápido como su técnica le permita (241).

Los métodos primarios más conocidos son (30): ejercicios de técnica de carrera, ejercicios de amplitud y frecuencia de zancada, y ejercicios variando distancias e intensidades.

##### a) Ejercicios de técnica de carrera

El desarrollo de la técnica del sprint incluye la realización de ejercicios de técnica, los cuales aíslan y combinan articulaciones con el fin de practicar una

serie de movimientos que establece el patrón de movimiento exacto (289). El hecho de descomponer la habilidad en partes más pequeñas permite enseñarlas óptimamente a velocidades bajas, para facilitar el aprendizaje a velocidades altas. Con el tiempo, los atletas pueden transferir las partes (ejercicios de técnica) a la totalidad del gesto (sprint) (241). Existen distintas categorías de ejercicios que se utilizan con el fin de enseñar aspectos del movimiento del sprint. Estas incluyen: a) ejercicios de braceo; b) ejercicios de tobillo; c) ejercicios de talón; d) ejercicios de elevación de rodilla; e) *ejercicios A*: combinación de elevación de rodilla con los de talón; y f) *ejercicios B*: combinación de los ejercicios A con ejercicios de tobillo (30).

A pesar de no existir estudios experimentales que muestren los efectos de estos ejercicios sobre el rendimiento, los entrenadores de velocidad los usan en la mayoría de sesiones a lo largo de toda la temporada. Los ejercicios de talón y de braceo se aprenden primero. Una vez se ha conseguido el dominio completo de estos ejercicios, se enseñan los ejercicios de talón con los de elevación de rodilla, simultáneamente. Cuando estos ejercicios se han perfeccionado los atletas progresan a los ejercicios A. Después de haber aprendido los ejercicios A, algunos atletas se pueden beneficiar al realizar los ejercicios B (30).

Se debe destacar que si los ejercicios no se realizan perfectamente y si no se perfecciona la secuencia apropiada, puede producir un empeoramiento del rendimiento (30). Los ejercicios realizados imperfectamente o antes de que el atleta esté física o técnicamente preparado desarrollarán y reforzarán una técnica

inapropiada, produciendo un impacto negativo sobre la velocidad, además de poder producir lesiones (30).

Los ejercicios de técnica de carrera no son sustitutos del sprint. Ya que normalmente se realizan a velocidades más bajas, lo que significa que no replican al sprint desde un punto de vista cinemático (289). En otras palabras, los ejercicios de técnica son útiles como ejercicios del calentamiento pero no como parte principal del entrenamiento en el rendimiento deportivo (30).

En la Tabla 11 se pueden observar algunas de las características de entrenamiento de los ejercicios de técnica de carrera. Además, de forma orientativa, se ha realizado una escala para aclarar la especificidad del método en relación a un sprint en competición. Se ha determinado el valor 5 cuando el ejercicio es totalmente específico, y el valor 1 cuando el ejercicio es poco específico, desde el punto de vista del patrón de movimiento, la velocidad de contracción muscular, el tipo de contracción muscular, así como la fuerza de contracción muscular (234). Este cuadro resumen se expondrá al finalizar cada método de entrenamiento.

**Tabla 11.** Cuadro resumen de entrenamiento para ejercicios de técnica de carrera (30, 31, 224).

| Carga de entrenamiento |              |           |                      |                    | Principio de especificidad |            |            |              |
|------------------------|--------------|-----------|----------------------|--------------------|----------------------------|------------|------------|--------------|
| Intensidad             | Recuperación | Duración  | Volumen máximo       | Frecuencia semanal | Patrón mov.                | Vel. cont. | Tipo cont. | Fuerza cont. |
| Sub-máxima<br>Máxima   | Completa     | 20 metros | 1-3 rep. x ejercicio | Diaria             | 4                          | 3          | 4          | 3            |

Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad.

b) Ejercicios de amplitud de zancada

El ritmo de zancada es la amplitud de zancada usada por un atleta en las distintas fases de la carrera y su relación con la zancada máxima. Por ejemplo, los atletas realizan más zancadas en los diez primeros metros. Éstas son más cortas que la zancada máxima y que en los diez últimos metros (que son más largas) (Tabla 12). El ritmo de zancada no se ha determinado científicamente. Sin embargo, se pueden hacer estimaciones a partir de estudios realizados en atletas de nivel internacional. Para ello se debe conocer la zancada media y máxima en los distintos tramos del sprint, lo ideal sería que estos tramos fueran lo más pequeños posibles. A continuación se presenta un ejemplo tomado a partir de los datos de dos velocistas de nivel internacional del estudio de Moravec et al. (98) (Tabla 12).

**Tabla 12.** Velocidad media y variables de zancada por secciones de 10 m en una prueba de 100 m.l. en dos finalistas mundiales (98).

| Variable       | Atleta | 0-10 | 10-20 | 20-30 | 30-40 | 40-50 | 50-60 | 60-70 | 70-80 | 80-90 | 90-100 |
|----------------|--------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| Vel. Media     | Johson | 5.78 | 9.8   | 10.64 | 11.49 | 11.63 | 11.76 | 11.76 | 11.49 | 11.63 | 11.49  |
|                | Lewis  | 5.75 | 9.8   | 10.53 | 11.49 | 11.63 | 11.63 | 11.63 | 11.63 | 11.76 | 11.63  |
| Nº de zancadas | Johson | 7.3  | 5.3   | 4.5   | 4.4   | 4.3   | 4.1   | 4.1   | 4.05  | 4.05  | 4.1    |
|                | Lewis  | 6.95 | 4.8   | 4.35  | 4.2   | 4.1   | 3.9   | 3.9   | 3.9   | 3.95  | 3.65   |
| Ampl. zancada  | Johson | 1.37 | 1.89  | 2.1   | 2.27  | 2.32  | 2.44  | 2.44  | 2.47  | 2.47  | 2.44   |
|                | Lewis  | 1.44 | 2.08  | 2.3   | 2.38  | 2.44  | 2.56  | 2.56  | 2.56  | 2.53  | 2.74   |
| Frec. zancada  | Johson | 4.22 | 5.19  | 4.77  | 5.05  | 5     | 4.82  | 4.82  | 4.65  | 4.7   | 4.71   |
|                | Lewis  | 3.99 | 4.7   | 4.58  | 4.82  | 4.77  | 4.53  | 4.53  | 4.53  | 4.65  | 4.24   |
| %máx. zancada  | Johson | 55.5 | 76.5  | 85.0  | 91.9  | 93.9  | 98.8  | 98.8  | 100.0 | 100.0 | 98.8   |
|                | Lewis  | 56.3 | 81.3  | 89.8  | 93.0  | 95.3  | 100.0 | 100.0 | 100.0 | 98.8  | 107.0  |

Vel. = velocidad; Máx. = máxima; Ampl. = amplitud; Frec. = frecuencia. En sombreado se presenta la estimación realizada para calcular el ritmo de zancada, expresada como porcentaje de la máxima zancada del atleta.

Los ejercicios de amplitud de zancada están diseñados para ayudar a mejorar la velocidad o el ritmo de la zancada del velocista (31). En primer lugar, el entrenador debe determinar la zancada óptima del atleta a partir de la altura del trocánter. La misma se puede obtener a partir de la relación encontrada por Hoffman (109, 110) para la zancada máxima y media en atletas masculinos y femeninos (Tabla 2, pág. 72). Con los ejercicios de amplitud de zancada el atleta apoya la extremidad inferior a una distancia determinada mientras corre. Se deben colocar, por tanto, marcas visuales (vallas, palos, pelotas de tenis, etc.) para indicar al velocista el lugar en el que apoyar la extremidad.

Los ejercicios de amplitud de zancada normalmente se realizan a un porcentaje de la zancada óptima, generalmente 60-105% de la zancada óptima (31). Realizar los ejercicios a más del 105% de la zancada óptima puede producir sobre-zancada, provocando un aumento de la fase de apoyo, principalmente en la sub-fase de frenado (31). Normalmente, se suelen utilizar manteniendo una distancia determinada (70%) o en un rango de diferentes distancias (del 60 al 105%). Con atletas de nivel, estos ejercicios se realizan a la distancia precisa con el fin de ayudar al velocista a acoplar su zancada al ritmo de carrera (31). Se recomienda que los ejercicios de amplitud de zancada no se deben realizar con más de 20 marcas, además, se debe facilitar una zona para la aceleración de 5 m hasta la primera marca, con el objeto de que el atleta tenga la oportunidad de incrementar la zancada antes de llegar a la misma (290).

| <b>Carga de entrenamiento</b>   |                            |                |                   |                       | <b>Principio de especificidad</b> |               |               |                 |
|---|----------------------------|----------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad  | Recuperación<br>Rep/series | Duración       | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.                    | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| > 90% de<br>la máx.<br>vel  | 3-5 min/<br>6-8 min        | ≤ 20<br>marcas | 900 m             | 1-3 veces             | 4                                 | 4             | 4             | 4               |
| Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; máx. = máxima. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad. |                            |                |                   |                       |                                   |               |               |                 |

c) Ejercicios de frecuencia de zancada

Uno de los métodos más conocidos para el desarrollo de la frecuencia de zancada son los ejercicios de velocidad de la extremidad inferior (31). Se caracterizan por que el atleta mueve la extremidad inferior a una velocidad superior de la que se alcanza durante el sprint y de esta forma se cree que se mejora la frecuencia de zancada (31).

Los ejercicios de velocidad de la extremidad inferior se realizan al principio con los ejercicios de técnica de carrera de tobillos, andando y comenzando con el pie derecho. Cada tres pasos, el atleta realiza un *ejercicio A* a máxima velocidad con la extremidad izquierda. Esta secuencia se repite cada tres pasos durante la distancia deseada. Al finalizar se cambia de extremidad. Una vez se ha aprendido correctamente el ejercicio, éste se realizará cada dos pasos (31). De cualquier manera, no se han encontrado estudios experimentales que demuestren los beneficios potenciales de este tipo de ejercicios sobre la frecuencia de zancada.

| <b>Carga de entrenamiento</b>            |                            |          |                        |                       | <b>Principio de especificidad</b> |               |               |                 |
|--|----------------------------|----------|------------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad                               | Recuperación<br>Rep/series | Duración | Volumen<br>máximo      | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.                    | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| > 100% de<br>la máx.<br>frec.<br>sprint. | Completa                   | 20 m     | 1-3 rep x<br>ejercicio | 1-3 veces             | 3                                 | 4             | 3             | 3               |

Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; máx. = máxima; frec. = frecuencia. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad.

d) Ejercicios variando distancias e intensidades

El principio de especificidad dicta que para mejorar en el sprint el atleta debe realizar sprints. Sin embargo, la realización de ejercicios de técnica de carrera de forma aislada no sustituye al sprint. De igual forma, los ejercicios de amplitud y frecuencia tampoco suplantán la carrera a máxima intensidad (31), al ser el movimiento diferente, se realiza de forma diferente, bajo condiciones artificiales. Una forma de ejercicio que permite aumentar la especificidad sin ser completamente iguales a los sprints son los ejercicios variando distancias e intensidades.

Los sprints variando distancias e intensidades son sprints que tienen distintos cambios en la velocidad durante unas distancias determinadas. Permiten desarrollar distintos objetivos. Primero, el hecho de correr modificando la velocidad permite aumentar los estímulos del sistema nervioso entre máximos esfuerzos (290). Segundo, estos sprints permiten al atleta correr a máxima intensidad de una forma relajada, lo cual es importante debido a que la tensión puede producir un enlentecimiento del velocista (291). Las variantes o versiones más empleadas de los sprints variando distancias e intensidades son los *sprints lanzados*, los *in and outs* y las *salidas con retraso*.

### *Sprints lanzados*

Son sprints a máxima intensidad realizados después de una zona de aceleración a sub-máxima intensidad. Por ejemplo, un atleta debe acelerar durante 15-30 m seguido de sprints de 10-60 m a máxima intensidad (292).

### *In and outs*

Son carreras que combinan sprints a máxima intensidad (*in*) con sprints sub-máximos (*outs*) de mantenimiento de la velocidad y la frecuencia de zancada (290). Los *in and outs* comienzan con una fase de aceleración seguida del primer *in* de 10-20 m, y seguido del primer *out* de 5-20 m, y así sucesivamente. El ejercicio debería finalizar siempre con un sprint *in*.

### *Salidas con retraso*

Se realizan con dos atletas en la línea de salida. El primer velocista comienza con la primera señal de salida, mientras que el segundo atleta saldrá con la segunda voz de salida. El objetivo es que el segundo velocista intente alcanzar al primer velocista, mientras que el primero intenta mantener la distancia adquirida (293).

**Tabla 15.** Cuadro resumen de entrenamiento para los ejercicios variando las distancias y las intensidades (30, 31, 224).

| Carga de entrenamiento |                            |          |                   |                       | Principio de especificidad |               |               |                 |
|------------------------|----------------------------|----------|-------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad             | Recuperación<br>Rep/series | Duración | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.             | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| 100%                   | 3-5 min/<br>6-8 min        | 30-80 m  | 900 m             | 1-3 veces             | 4-5                        | 4-5           | 4-5           | 4-5             |

Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones.  
Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad.

#### 2.4.2.4.2. Métodos secundarios

Los métodos secundarios son los llamados métodos resistidos y asistidos. Según Plisk (44), los métodos asistidos se recomiendan para la mejora de la frecuencia de zancada. En cambio, los métodos resistidos se utilizan para la mejora de la F-V y de la amplitud de zancada (44). Sin embargo, estos efectos no se han demostrado empíricamente.

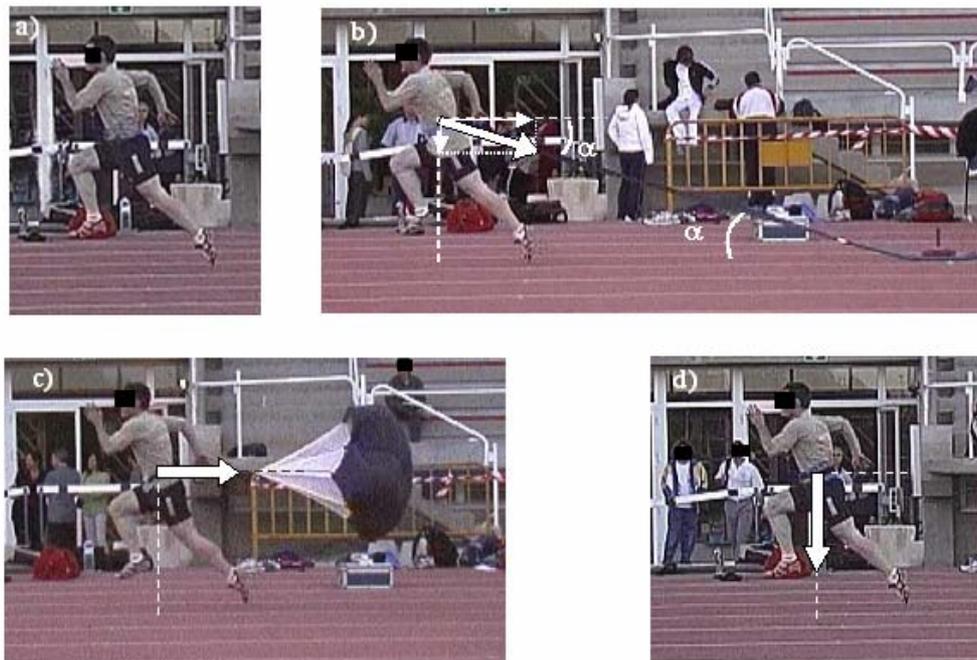
##### a) Métodos resistidos

Los métodos resistidos son aquellas formas de entrenamiento en las que se imita la técnica específica del sprint añadiendo una sobrecarga al deportista (25-27, 50). Éstos incluyen arrastre de trineos o ruedas, arrastre de paracaídas, lastre de chalecos o cinturones, carreras sobre la arena de la playa y carreras cuesta arriba (37, 39, 41-43).

Los ejercicios de entrenamiento resistido buscan que los músculos utilizados en los sprints trabajen en sobrecarga. Se cree que esto causa una mayor activación neural, y un mayor reclutamiento de unidades motoras de contracción rápida (41, 45). Los métodos resistidos, además, parecen mejorar la habilidad del atleta para generar una mayor fuerza horizontal, vertical o ambas, dependiendo de la dirección de la aplicación de la carga sobre el ejercicio (46). Se ha documentado que el entrenamiento específico mejora la coordinación intermuscular y asegura que el músculo esté preparado para adquirir un mayor desarrollo de fuerza (233). El hecho de añadir una sobrecarga al movimiento específico podría ser una estrategia adecuada para conseguir esta especificidad, aunque la magnitud de la sobrecarga, así como el efecto de la dirección de aplicación de la misma debe ser estudiada. De nuevo, el beneficio potencial de los métodos resistidos requiere comprobación empírica.

La dirección de la resistencia aplicada al atleta es diferente dependiendo del método de entrenamiento resistido usado. En consecuencia cada método resistido tiene diferentes efectos sobre la velocidad del atleta así como en la mecánica del sprint (52) (Figura 16). Por ejemplo, al esprintar con un cinturón lastrado la resistencia adicional en el atleta proviene del peso del dispositivo (que se dirige verticalmente). Al esprintar con un paracaídas de velocidad el dispositivo tracciona directamente hacia atrás, así, la resistencia es dirigida de forma horizontal. Con los arrastres de trineo, el dispositivo también se coloca tras el

atleta, pero en este caso, la resistencia tracciona hacia debajo y atrás, debido a que el punto de sujeción del trineo es más bajo que el del velocista (52).



**Figura 16.** Comparación de a) un sprint sin carga con sprints al utilizar tres tipos de dispositivos de entrenamiento resistido; b) trineo; c) paracaídas de velocidad; y d) cinturón lastrado. Las flechas muestran la dirección de la fuerza aplicada al atleta por el dispositivo usado (52).

A partir de la revisión realizada (48, 49, 52) se observa que los distintos métodos producen diferentes adaptaciones cinemáticas puntuales sobre el deportista. El siguiente paso será determinar los efectos que los distintos métodos producen sobre los componentes implicados en el rendimiento del sprint (Figura 14, pág. 126).

Esta diferenciación en la dirección de la resistencia y sus consecuencias sobre la mecánica del sprint hacen que algunos autores recomienden diferentes métodos resistidos para la mejora de la fase de aceleración y otros para la fase de máxima velocidad, basándose en el principio de especificidad del entrenamiento (47). Por ejemplo, desde un punto de vista cinemático recomiendan los arrastres de trineo con cargas altas y los sprints cuesta arriba para simular la fase de aceleración (47). El arrastre de trineo con cargas bajas (52), los chalecos y cinturones lastrados (47, 52), así como los paracaídas de velocidad (42, 52) imitan, además, la cinemática del sprint durante la fase de máxima velocidad.

Otro aspecto por determinar en este tipo de entrenamiento es la carga óptima a usar en los distintos métodos resistidos. Cabe recordar que el control de la intensidad es uno de los requisitos más importantes en la programación del entrenamiento deportivo. Ésta va a determinar el efecto producido por el método utilizado, tal y como establece el principio de especificidad. El entrenamiento resistido para el sprint se utiliza con el fin de producir adaptaciones similares a las que produce el entrenamiento de velocidad, con la diferencia de añadir una pequeña sobrecarga sobre el atleta, y así mejorar la fuerza específica del mismo. Si la sobrecarga es excesiva se pueden producir cambios indeseables en la cinemática del sprint y las adaptaciones podrían no ser específicas.

En el entrenamiento de velocidad, la forma más utilizada de controlar la intensidad es por medio de la máxima velocidad alcanzada por el sujeto. Es decir, correr al 100% de la máxima velocidad, será la intensidad mayor, y correr al 80% será una intensidad menor. Esta forma de controlar la intensidad es muy adecuada para estimar la intensidad en los métodos resistidos. Si la sobrecarga es muy baja, el sujeto correrá a una velocidad cercana a su máxima y si la sobrecarga es alta, la velocidad decrecerá de forma sustancial, y se alejará del principio de especificidad. La escasa bibliografía experimental encontrada recomienda que para que un entrenamiento resistido sea efectivo, éste no debe producir una pérdida en la máxima velocidad superior al 10% (37, 48, 49). De lo contrario, se producirán modificaciones significativas en la configuración de las palancas, proporcionando adaptaciones indeseadas. Así, Lockie et al. (49) y Spinks et al. (54) propusieron la siguiente ecuación:  $\% \text{ Masa corporal} = (-1.96 \cdot \% \text{ velocidad}) + 188.99$ , con el fin de calcular la carga adecuada en el entrenamiento de velocidad con arrastres de trineo. Este estudio se desarrolló con deportistas de distintos deportes de equipo (hockey hierba, rugby, fútbol australiano, fútbol) en la fase de aceleración (15 m) con arrastres de trineo.

El objetivo principal del trabajo resistido es el desarrollo de los elementos específicos que inciden de forma directa en el sprint. Por lo tanto, los componentes de la carga de entrenamiento como son el volumen, recuperación, frecuencia, deben ser similares a los usados en el entrenamiento tradicional para el desarrollo de la máxima velocidad.

A continuación se van a describir los métodos resistidos de forma individual. Para cada método, se explicarán tanto los efectos puntuales como los efectos producidos por el entrenamiento continuado a corto, medio y largo plazo, para aquellos métodos que hayan sido investigados.

#### Arrastres de trineo

El arrastre de trineo es el método resistido más común que proporciona resistencia de arrastre para el desarrollo del rendimiento en el sprint (31, 41, 45, 47-49, 52). Básicamente consiste en un pequeño trineo que se engancha por medio de una cuerda a un arnés que el atleta sujeta a su cintura u hombros (Figura 16). Sobre el trineo se pueden colocar distintas cargas dependiendo del nivel de resistencia que se desee ofrecer.

Cuando se utilizan arrastres de trineo, la resistencia adicional experimentada por el atleta se produce, principalmente, por la inercia en la fase de aceleración, y por la fuerza de fricción entre la base del trineo y la superficie en la que se ejecuta la carrera durante todo el desplazamiento. Esta fuerza de fricción es aproximadamente proporcional al peso total del trineo, pudiendo el entrenador manipular la carga cambiando el peso colocado sobre el mismo. Cuanto mayor sea la carga añadida, mayor será la fricción, y en consecuencia más lenta será tanto la aceleración como la máxima velocidad del atleta. El coeficiente de fricción

entre el trineo y la superficie de la pista está determinado por el tipo de material que recubre el trineo (pintura, metal, etc.), y por la superficie sobre la que se desliza. Con el fin de producir una carga consistente entre sesiones, el entrenador debe tener cuidado de utilizar siempre la misma superficie de trineo y la misma superficie de carrera.

La mayoría de los arrastres van sujetos al atleta gracias a una cuerda que se fija en los hombros o en la cintura con un arnés. El punto de sujeción al trineo está usualmente cerca del nivel del suelo, por lo tanto la fuerza que produce sobre el atleta es dirigida hacia atrás y ligeramente hacia abajo. Cuanto más larga es la cuerda o más bajo es el punto de fijación sobre el cuerpo, la fuerza se transferirá en una dirección más horizontal. De ahí que el punto de sujeción más común sea el de la cintura, ya que la sujeción de hombros provoca una mayor inclinación del tronco.

Faccioni (45), basado en las observaciones hechas por los entrenadores, sugirió que el uso de los arrastres de trineo podía incrementar la carga en el torso del atleta y de esta forma desarrollaría más la estabilización del mismo. Este estímulo de entrenamiento podría incrementar la estabilización pélvica, lo que permitiría aumentar el rendimiento en el sprint. Está claro que el uso de métodos de entrenamiento resistido es común tanto en atletismo, como en la mayoría de deportes en los que la velocidad es determinante (47). Sin embargo, existen muy pocos estudios experimentales que expliquen los beneficios y adaptaciones con

entrenamiento a corto y medio plazo de los métodos resistidos sobre los deportistas (12, 16, 54).

Lo que sí está demostrado es que el uso del trineo produce cambios puntuales en la cinemática del sprint, tanto en la fase de aceleración (12, 47-49) como en la fase de máxima velocidad (12, 51, 294) en sujetos poco entrenados y en atletas entrenados. La utilización de trineos en la fase de aceleración produce una disminución de la velocidad del atleta y de la amplitud y la frecuencia de zancada, incrementa los tiempos de contacto, la inclinación del tronco y produce algunos cambios en la configuración del tren inferior del atleta durante la fase de contacto. Para la fase de máxima velocidad, los principales cambios producidos son un descenso de la velocidad de carrera, un incremento de la inclinación del tronco y una reducción de la amplitud de zancada.

En la bibliografía consultada sólo se ha encontrado un trabajo (12) que se haya centrado en el estudio de los efectos a corto plazo que se producen con la utilización de arrastres de trineo sobre la fase de aceleración y de máxima velocidad. En este estudio participaron 22 estudiantes de educación física. La muestra se dividió en dos grupos: grupo con arrastres (GA) ( $n = 11$ ) y grupo tradicional (GT) ( $n = 11$ ). El programa de entrenamiento consistió en la realización de carreras de 4 x 20 m, y carreras de 4 x 50 m, tres veces por semana, durante 8 semanas. El GA realizó entrenamiento arrastrando un trineo con una carga total de 5 kg, mientras que el GT realizó el mismo entrenamiento, pero sin trineo.

Antes y después del entrenamiento, los sujetos realizaron carreras de 50 m. Se midieron los tiempos en los metros 10, 20, 40 y 50. Además, se midió la amplitud y frecuencia de zancada en la 3ª zancada (fase de aceleración), y entre el 42 m y el 47 m (fase de máxima velocidad). El GA mejoró la velocidad de carrera en los tramos 0-10 m y 0-20 m, mientras que en el GT la velocidad en estos tramos permaneció sin cambios significativos ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, el GA no consiguió mejorar en la velocidad de carrera en la fase de máxima velocidad, mientras que el GT mejoró la velocidad media en los tramos 20-40 m, 40-50 m, y 20-50 m ( $p < 0.05$ ). La frecuencia de zancada se incrementó sólo en el GA, durante la fase de aceleración ( $7.1 \pm 2.9\%$ ;  $p < 0.05$ ), mientras que la amplitud de zancada sólo se incrementó en el GT en la fase de máxima velocidad ( $5.5 \pm 2.5\%$ ;  $p < 0.05$ ). Se llegó a la conclusión de que el entrenamiento con arrastres de trineo mejora el rendimiento en la fase de aceleración (0-20 m), mientras que el entrenamiento sin cargas mejora el rendimiento en la fase de máxima velocidad (20-40 m). Si se tiene en cuenta que las adaptaciones neuromusculares pueden ser diferentes cuando se utilizan sujetos poco entrenados con respecto a deportistas entrenados (53), estos resultados no son transferibles a atletas experimentados.

Existen otros dos estudios que han mostrado los efectos del entrenamiento con métodos resistidos sobre la fase de aceleración. En el estudio de Kristensen, van den Tillar y Ettema (16) el objetivo principal fue comprobar la hipótesis siguiente: el principio de especificidad de la velocidad tiene aplicación a la fase de aceleración del sprint. Para ello realizaron una comparación de los

entrenamientos con sprints resistidos, sprints normales y sprints supra-máximos. Diecinueve estudiantes masculinos y femeninos de Ciencias del Deporte fueron distribuidos en tres grupos de entrenamiento: resistido, normal y supra-máximo. El entrenamiento resistido y el supra-máximo se realizó por medio de arrastres horizontales, que proporcionaban un descenso del 8.5% (resistido) o un aumento del 3.3% (asistido) de la máxima velocidad en relación al sprint normal. La resistencia o la facilitación del sprint la determinaron por medio de una célula de carga. El periodo de entrenamiento fue de 6 semanas, con 3 sesiones de entrenamiento por semana (5 sprints sobre 22 m). Se midieron los tiempos de carrera bajo las tres condiciones de carrera, así como la amplitud y tiempo de zancada media en 20 m. Se encontró un aumento significativo ( $p < 0.05$ ) del 0.5% en la velocidad de carrera en todos los grupos, excepto en el grupo resistido. Todos los sujetos mejoraron la velocidad de carrera de forma principal en la forma entrenada de 1-2% ( $p < 0.001$ ), y de esta forma se demostró el principio de especificidad de la velocidad en el entrenamiento del sprint. En relación a la amplitud de zancada se observó un descenso significativo en el grupo normal al realizar sprints resistidos. Con respecto al tiempo de zancada se observó una disminución significativa en el grupo normal al realizar sprints resistidos y en el normal y supra-máximo al realizar el test supra-máximo. Los autores concluyeron que para obtener mejoras en el rendimiento en sprints cortos (20 m) durante cortos periodos de entrenamiento (6 semanas) es mejor trabajar de forma específica. Los resultados encontrados son contradictorios respecto a los mostrados por Zafeiridis et al. (12). El grupo resistido no mejoró la velocidad de

carrera sobre 20 m, incluso empeoró de forma no significativa. Una de las limitaciones que presentan los autores es que este estudio no se realizó con velocistas experimentados. Por lo tanto su aplicabilidad está limitada a estudiantes de Ciencias del Deporte entrenados en deportes de equipo.

Recientemente se ha realizado un estudio más completo (54) con el objeto de determinar los efectos del entrenamiento resistido sobre el rendimiento en la fase de aceleración (0-15 m), la potencia de tren inferior (CMJ), test de cinco saltos (5BT), DJ de 50 cm, y cinemática (tiempos de contacto, longitud de zancada, frecuencia de zancada, etc.) en deportistas de deportes de equipo (fútbol, rugby y fútbol australiano). Treinta deportistas se asignaron de forma aleatoria a los siguientes grupos: a) ocho semanas de entrenamiento de velocidad de una hora con entrenamiento resistido que producía una pérdida de la máxima velocidad del 10%, dos veces por semana ( $n = 10$ ); b) ocho semanas de entrenamiento de velocidad no resistido de una hora, dos veces por semana ( $n = 10$ ); y c) grupo control, que no realizó ningún tipo de entrenamiento ( $n = 10$ ). Durante la duración del estudio los deportistas siguieron con su entrenamiento habitual que consistía en al menos dos días de entrenamiento de fútbol, y dos días de entrenamiento de fuerza y acondicionamiento, además de un partido de fútbol, todo ello a la semana. Los autores indican que un programa de ocho semanas de entrenamiento resistido: a) mejora significativamente el rendimiento en la fase de aceleración y la potencia de tren inferior (CMJ y 5BT), sin embargo no es más efectivo que un entrenamiento de velocidad no resistido, b) mejora de forma significativa la

fuerza reactiva (50DJ), y c) ofrece un impacto mínimo sobre la cinemática del tren inferior y superior en la fase de aceleración (dos primeras zancadas) al compararlo a un entrenamiento de velocidad no resistido de ocho semanas. Estos hallazgos sugieren que el entrenamiento resistido no afecta de forma negativa la cinemática del sprint. Aunque, los resultados indican que el entrenamiento resistido no es más efectivo que el no resistido, este método proporciona un estímulo de sobrecarga para la mecánica de la aceleración, reclutando los extensores de cadera y de rodilla, resultando en una mayor aplicación de potencia horizontal (54).

A pesar de haberse dado un primer paso en los estudios que explican los efectos de los arrastres sobre distintos tipos de poblaciones a corto plazo, aún no se ha realizado ningún estudio en atletas experimentados. Se debe remarcar que este tipo de entrenamiento se usa de forma habitual en este tipo de poblaciones y aún no se conoce de forma científica los efectos que los mismos producen sobre el rendimiento del sprint.

La magnitud de los efectos depende del peso añadido al trineo. La recomendación propuesta por los autores es que los arrastres de trineo son aconsejables siempre que se utilice una carga que no modifique significativamente la técnica del atleta. El hecho de que la utilización de los métodos resistidos modifique la técnica de los deportistas, hace que este tipo de trabajo no se recomiende en atletas noveles o con un bajo nivel técnico.

La cuantificación de la carga sigue sin estar determinada por la comunidad científica. Este aspecto es el que condiciona la carga interna impuesta al deportista, y por lo tanto, el que provoca las adaptaciones en una dirección o en otra. Lockie et al. (49) y Spinks et al. (54) han desarrollado una ecuación para la prescripción en deportistas de deportes colectivos y para la fase de aceleración. En la Tabla 16 se presentan valores de referencia de la carga dependiendo del peso corporal individual en relación con el porcentaje de velocidad al que se desea correr, para trabajar la fase de aceleración, con arrastres de trineo a partir de la ecuación de Lockie et al. (49) y Spinks et al. (54). La ecuación es la siguiente:  $\% \text{ Masa corporal} = (-1.96 \cdot \% \text{ velocidad}) + 188.99$ , donde  $\% \text{ velocidad}$  = la velocidad de entrenamiento requerida como porcentaje de la máxima velocidad, e.g., 90% de la máxima.

**Tabla 16.** Carga (kg) requerida en arrastre de trineo en el entrenamiento de la fase de aceleración dependiendo de la masa corporal individual (49, 54).

| Masa Corporal Individual (kg) | Porcentaje de la máxima velocidad |       |      |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------|------|
|                               | 90%                               | 92.5% | 95%  |
| 120                           | 15.11                             | 9.23  | 3.35 |
| 115                           | 14.48                             | 8.84  | 3.21 |
| 110                           | 13.85                             | 8.46  | 3.07 |
| 105                           | 13.22                             | 8.07  | 2.93 |
| 100                           | 12.59                             | 7.69  | 2.79 |
| 95                            | 11.96                             | 7.31  | 2.65 |
| 90                            | 11.33                             | 6.92  | 2.51 |
| 85                            | 10.70                             | 6.54  | 2.37 |
| 80                            | 10.07                             | 6.15  | 2.23 |
| 75                            | 9.44                              | 5.77  | 2.09 |

|    |      |      |      |
|----|------|------|------|
| 70 | 8.81 | 5.38 | 1.95 |
| 65 | 8.18 | 5.00 | 1.81 |
| 60 | 7.55 | 4.61 | 1.67 |
| 55 | 6.92 | 4.23 | 1.53 |
| 50 | 6.30 | 3.85 | 1.40 |
| 45 | 5.67 | 3.46 | 1.26 |

Debido a que esta ecuación está hecha con una población no atleta, Alcaraz, Palao y Elvira (294) buscaron su adecuación en atletas entrenados en condiciones específicas (usando zapatillas de clavos y corriendo sobre tartán). Demostraron que permite establecer la carga del trineo con un error de  $\pm 2.2\%$  de diferencia en la velocidad. Este error tiende a ser por defecto y no por exceso. Esta ecuación es muy útil para calcular la carga a utilizar en el trineo para el entrenamiento de la fase de aceleración. Sin embargo, debido a que la fase de máxima velocidad tiene características diferentes a las de la fase de aceleración (30, 43, 295), el trabajo de máxima velocidad requiere de un tipo de trabajo y una carga diferente.

En este sentido Alcaraz et al. (294) llevaron a cabo un estudio con 26 atletas de velocidad para determinar la carga a usar en el entrenamiento de máxima velocidad desarrollando la siguiente ecuación:  $\% \text{ Masa corporal} = (-0.8674 \cdot \% \text{ velocidad}) + 87.99$ , donde  $\% \text{ velocidad}$  = la velocidad de entrenamiento requerida como porcentaje de la máxima velocidad, e.g., 90% de la máxima. En la Tabla 17 se presentan valores de referencia de la carga dependiendo del peso corporal individual en relación con el porcentaje de velocidad al que se desea correr, para trabajar la fase de máxima velocidad.

**Tabla 17.** Carga (kg) requerida en arrastre de trineo en el entrenamiento de la fase de máxima velocidad dependiendo de la masa corporal individual (294).

| Masa Corporal Individual (kg) | Porcentaje de la máxima velocidad |       |      |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------|------|
|                               | 90%                               | 92.5% | 95%  |
| 120                           | 11.91                             | 9.31  | 6.71 |
| 115                           | 11.41                             | 8.92  | 6.43 |
| 110                           | 10.92                             | 8.53  | 6.15 |
| 105                           | 10.42                             | 8.14  | 5.87 |
| 100                           | 9.93                              | 7.76  | 5.59 |
| 95                            | 9.43                              | 7.37  | 5.31 |
| 90                            | 8.93                              | 6.98  | 5.03 |
| 85                            | 8.44                              | 6.59  | 4.75 |
| 80                            | 7.94                              | 6.21  | 4.47 |
| 75                            | 7.44                              | 5.82  | 4.19 |
| 70                            | 6.95                              | 5.43  | 3.91 |
| 65                            | 6.45                              | 5.04  | 3.63 |
| 60                            | 5.96                              | 4.65  | 3.35 |
| 55                            | 5.46                              | 4.27  | 3.07 |
| 50                            | 4.96                              | 3.88  | 2.79 |

Cabe destacar que estas tablas son orientativas y se basan en la idea de que no se debe perder más del 10% de la máxima velocidad para mantener el principio de especificidad en el sprint (37, 48, 49). Se debe recordar que esta afirmación está basada en las observaciones realizadas por entrenadores expertos, pero no está demostrada científicamente. Así, futuras investigaciones se deben centrar en este aspecto. Quizá, el aspecto más importante a controlar en la cinemática del sprint es el tiempo de contacto en las distintas fases. Ya que éstos son el resultado final del patrón de movimiento; la velocidad de contracción; el tipo de contracción; y la fuerza de contracción, en definitiva, son los que determinan la especificidad del método. Se deben realizar estudios similares a los

presentados por Lokie et al. (49), Spinks et al. (54), y Alcaraz et al. (294) con el resto de métodos resistidos con el fin de ayudar de forma práctica a los entrenadores en la programación del entrenamiento resistido.

Debido a la especificidad de los arrastres de trineo, así como a su posible uso tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad, este tipo de método resistido se puede usar durante la última fase de preparación general y en toda la fase de preparación específica.

**Tabla 18.** Cuadro resumen de entrenamiento para los arrastres de trineo (30, 31, 224).

| Carga de entrenamiento  |                            |  |                   |                       | Principio de especificidad |               |               |                 |
|---|----------------------------|--|-------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad  | Recuperación<br>Rep/series | Duración                                   | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.             | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| Pérdida<br>< 10% de<br>máx. vel.<br>¿?  | 3-5 min/<br>6-8 min        | Aceler.<br>15-30 m<br>máx. vel.<br>30-60 m | 900 m             | 1-3 veces             | 4-5                        | 4-5           | 4-5           | 4-5             |
| Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; máx. = máxima; vel. = velocidad. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad. |                            |  |                   |                       |                            |               |               |                 |

#### Paracaídas de velocidad

El paracaídas de velocidad, es un dispositivo usado en el entrenamiento de la velocidad cuyo origen está situado en la antigua Unión Soviética (42). Este dispositivo es, básicamente, un paracaídas que se coloca tras el deportista enganchado a la cintura del mismo (Figura 16). Una de las características

específicas de este método es que la resistencia se incrementa según aumenta la velocidad del deportista. Este tipo de entrenamiento también permite combinar el entrenamiento resistido con la súper-velocidad, soltando el dispositivo cuando se ha alcanzado la máxima velocidad (42).

Cuando se esprinta con un paracaídas de velocidad, el paracaídas tracciona directamente hacia atrás y de esta forma la fuerza de resistencia es directamente horizontal y hacia detrás. La resistencia del paracaídas es proporcional a la talla y forma del paracaídas y al cuadrado de la velocidad relativa de carrera del atleta. El entrenador debe manipular la resistencia experimentada por el atleta modificando el tamaño del paracaídas. Cuanto mayor sea el paracaídas, mayor será la resistencia, y por lo tanto, más lenta será la aceleración y la máxima velocidad conseguida por el atleta.

Los objetivos que se pueden desarrollar con los paracaídas de velocidad son: incremento de la fuerza específica, resistencia a la velocidad, fuerza-resistencia, mejora de la aceleración, la máxima velocidad, y la explosividad (42). Estas mejoras, sin embargo, se basan en afirmaciones de entrenadores y no están demostradas empíricamente.

Los cambios puntuales producidos por el paracaídas de velocidad son similares a los encontrados por el trineo en la fase de máxima velocidad (52). No se han encontrado estudios que expliquen el efecto puntual del uso del paracaídas

sobre la cinemática del sprint en la fase de aceleración. Tan sólo existen estudios que citan recomendaciones para su uso (37, 42, 296-298). Estas son las siguientes:

- a) Cuando el objetivo sea trabajar la máxima velocidad, la velocidad de carrera debe ser del 95-100%, y si el objetivo es el desarrollo de la resistencia a la máxima velocidad entre el 90-100% de la máxima velocidad. En el primer caso, las distancias son cortas (20-60 m), en el segundo, las distancias son largas (80-150 m). Las diferencias en tiempo con respecto a sprints normales en las distancias cortas deben estar entre 0.1-0.3 s (paracaídas pequeño) y 0.3-0.4 s (paracaídas mediano). Para distancias largas (150 m), la diferencia debe ser de 0.3-0.4 s (paracaídas pequeño), o 0.5-0.6 s (paracaídas mediano) o 0.8-1.2 (dos paracaídas pequeños o medianos).
  
- b) Para la mejora de la máxima velocidad y de la resistencia a la máxima velocidad este método de entrenamiento no se debe usar menos de 2-3 veces por semana. Siempre en condiciones de descanso.

Uno de los principales problemas del uso de los paracaídas, sobre todo al aire libre, es que depende del viento predominante en la zona. Así, es difícil cuantificar la resistencia ofrecida ya que la carga interna impuesta puede variar de una sesión a otra, o incluso en la misma sesión. Otro aspecto negativo de los paracaídas, es el hecho de que la resistencia aumenta con el aumento de la

velocidad, por lo tanto, tendremos el mismo problema a la hora de cuantificar la carga interna impuesta (37). Por último, destacar el efecto que produce el movimiento del paracaídas sobre el patrón de movimiento, mayormente cuando existe viento lateral fuerte. Este efecto puede ser beneficioso en los deportes de equipo, pero no en los sprints en línea recta (37).

| Carga de entrenamiento   |                            |   |                   |                       | Principio de especificidad |               |               |                 |
|--|----------------------------|---|-------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad   | Recuperación<br>Rep/series | Duración  | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.             | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| Pérdida<br>< 10% de<br>máx. vel.<br>¿?   | 3-5 min/<br>6-8 min        | <b>Aceler:</b><br>15-30 m<br><b>Máx. vel.:</b><br>30-60 m | 900 m             | 2-3 veces             | 4                          | 4             | 4             | 4               |
| Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; aceler. = aceleración; máx. = máxima; vel. = velocidad. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad. |                            |   |                   |                       |                            |               |               |                 |

### Cinturón o chaleco lastrado

Los cinturones o chalecos lastrados son dispositivos que se colocan sobre el cuerpo del velocista (Figura 16) incrementando ligeramente el peso del mismo. Al correr con estos dispositivos los deportistas experimentan una sobrecarga muscular mayor, produciendo un aumento de la coordinación intra-muscular (37).

Al esprintar con un chaleco o cinturón lastrado, la carga adicional sobre el atleta proviene del peso del dispositivo, el cual está dirigido de forma vertical hacia abajo. El atleta debe, por tanto, ejercer una gran fuerza vertical sobre el suelo con el fin de elevar el cuerpo y producir la fase de vuelo de la zancada. Sin embargo, esta gran fuerza vertical se produce a expensas de una reducción en la fuerza horizontal, y de esta forma produce una velocidad de carrera más lenta. El entrenador debe manipular la resistencia experimentada por el atleta modificando la suma del peso en el cinturón o chaleco. Cuanto mayor sea el peso añadido, mayor será la fuerza vertical que el atleta debe generar para producir la fase de vuelo. Cuando se esprinta con un cinturón o chaleco lastrado el atleta debe también superar la inercia del dispositivo. La inercia adicional del dispositivo incrementa el tiempo requerido por el atleta para acelerar hasta conseguir la máxima velocidad de carrera. Sin embargo no debe producir un gran efecto sobre la máxima velocidad de carrera conseguida por el atleta (52).

Se ha observado que con el uso del cinturón lastrado con una carga del 9% del peso corporal no se producen cambios puntuales sustanciales en la inclinación del tronco, y tampoco en el resto de variables cinemáticas (52). La carga, producida por el cinturón, se coloca cercana a las caderas e incluso distribuida alrededor de la cintura, y por lo tanto el torque total sobre el tronco es relativamente pequeño. Si el atleta fuera a usar un chaleco lastrado en lugar de un cinturón lastrado, la carga aplicada se colocaría más lejana de las caderas. Sin embargo, se cree que un cambio sustancial en la inclinación del tronco podría ser

evitado si el peso se coloca de forma apropiada sobre el pecho y la espalda con el fin de equilibrar los torques sobre las caderas (52). Por lo tanto sería adecuado ver los efectos que este tipo de entrenamiento produce sobre el rendimiento en el sprint, ya que parece mejorar la fuerza explosiva y el CEA en atletas entrenados (278, 299, 300) y no produce cambios significativos en la mecánica del sprint (52).

Los posibles efectos del uso de estos dispositivos son un desplazamiento de la curva de F-V hacia la derecha, una mejora de la fuerza explosiva del tren inferior y una mejora del CEA corto (278, 299, 300). Estas observaciones surgen de una serie de estudios realizados por Bosco et al. (278, 299, 300). Estos autores han investigado la utilización de chalecos lastrados en atletas entrenados durante prolongados periodos de tiempo. El primero, de esta serie de investigaciones (300), intentó crear una situación de "híper-gravedad" sobrecargando a los atletas durante un periodo de tres semanas con un chaleco que pesaba el 13% del peso corporal del atleta. El chaleco se llevaba desde la mañana hasta la noche, incluido el periodo de entrenamiento. El entrenamiento incluía entrenamiento de saltos y pesas habitual en los deportistas, siempre con el chaleco. Tras el entrenamiento, se observó un incremento significativo (~10%) de la fuerza explosiva del tren inferior medida en SJ y DJ's. Además, se encontró un desplazamiento hacia la derecha de la curva de F-V. Se concluyó que las condiciones de híper-gravedad influyen en la mecánica muscular de los deportistas, incluso en aquellos entrenados.

Bosco (299) examinó la relación de fuerza-velocidad de la musculatura del tren inferior en cinco saltadores de nivel internacional masculino durante un periodo de 13 meses. Durante los primeros 12 meses de entrenamiento, en los que los deportistas no llevaban chaleco, no se encontraron mejoras en las variables estudiadas. Sin embargo, después de 3 semanas de una situación simulada de hiper-gravedad, en la que los atletas llevaron un chaleco con el 11% del peso corporal, se produjo un incremento significativo en el desplazamiento hacia la derecha de la curva de fuerza-velocidad, al realizar SJ's con sobrecarga. El uso del chaleco lastrado, además, incrementó de forma significativa ( $p < 0.001$ ) el rendimiento en los DJ's. Bosco (299) no estudió si los mecanismos que producían las mejoras eran neurales o musculares. Sin embargo, se demostró que tras un periodo de hiper-gravedad, el tiempo de ejecución para el CEA durante un DJ y los saltos en 15 s decreció, y el desarrollo de fuerza mejoró. En otro estudio de Bosco et al. (278) se investigó el efecto del chaleco lastrado con una carga de 7-8% del peso corporal en velocistas que realizaban entrenamiento de saltos y sprint. Al igual que en los otros estudios, los deportistas llevaron la carga extra durante 3 semanas, desde por la mañana hasta la noche, incluido el periodo de entrenamiento. Los resultados encontrados fueron similares a los de los estudios previos. Sin embargo, no se controló el efecto del entrenamiento sobre el rendimiento del sprint. Por lo tanto, se deben realizar estudios más completos que determinen el efecto de este entrenamiento sobre todas las variables que influyen en el rendimiento del sprint.

| Tabla 20. Cuadro resumen de entrenamiento para los chalecos y cinturones lastrados (30, 31, 224).  |                            |   |                   |                       |                            |               |               |                 |
|--|----------------------------|---|-------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Carga de entrenamiento   |                            |   |                   |                       | Principio de especificidad |               |               |                 |
| Intensidad   | Recuperación<br>Rep/series | Duración  | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.             | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| Pérdida<br>< 10%<br>de máx.<br>vel.<br>¿?  | 3-5 min/<br>6-8 min        | <b>Aceler.:</b><br>15-30 m<br><b>Máx. vel:</b><br>30-60 m | 900 m             | 2-3 veces             | 4-5                        | 4-5           | 4-5           | 4-5             |
| Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; aceler: aceleración; máx. = máxima; vel. = velocidad. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad. |                            |   |                   |                       |                            |               |               |                 |

### Carreras sobre la arena de la playa

Los sprints sobre la arena de la playa son carreras a máxima intensidad que se realizan con el objeto de mejorar la fuerza específica del sprint. Sin embargo, en los sprints sobre la playa el mecanismo resistido es diferente al observado en los arrastres, paracaídas y cinturón lastrado. Con este método, la resistencia aplicada al atleta proviene de la superficie inestable de carrera, debido a que la arena se mueve durante la fase de contacto de la zancada (Figura 17).



**Figura 17.** Sprint sobre la arena de la playa.

Cuando se esprinta sobre la arena de la playa, se produce una reducción en la velocidad de carrera, longitud de zancada y frecuencia de zancada. Al esprintar sobre una pista de atletismo, el atleta ejerce una fuerza horizontal sobre el suelo para acelerar el cuerpo hacia delante y superar la resistencia del aire, y una fuerza vertical para propulsar el cuerpo hacia arriba y producir la fase de vuelo. Al correr sobre arena de playa la superficie se mueve ligeramente, de esta forma parte de la energía generada por el atleta se disipa en la arena, antes de que se mueva el COM del atleta (301). La reducción consecuente en la velocidad horizontal de despegue (i.e. velocidad de carrera) reduce la distancia en la que el atleta se desplaza hacia delante durante la fase de vuelo de la zancada y de esta forma se reduce la amplitud de zancada del atleta. Si el atleta mantiene los mismos patrones y rangos de movimiento durante la fase de apoyo de la zancada, la velocidad horizontal más baja incrementa el tiempo necesario para realizar los movimientos y por consiguiente produce un tiempo de contacto mayor. En contraste, la disipación de la energía en la playa no afecta el tiempo requerido por

el atleta para realizar los movimientos de la pierna durante la fase de vuelo de la zancada. La suma resultante de un tiempo de contacto mayor y un tiempo de vuelo sin variación es una frecuencia de zancada reducida ligeramente.

Del mismo modo que ocurre con la mayoría de métodos resistidos, no existen estudios experimentales que expliquen los efectos que producen los sprints en la playa sobre los componentes relacionados con el rendimiento del sprint. Únicamente se ha sugerido que debido al aumento de los tiempos de contacto al usar este método (302), no se produce una estimulación del CEA corto, que los velocistas requieren en la fase de máxima velocidad (37). De hecho, en un estudio realizado con velocistas y decatletas se llegó a la conclusión de que esprintar sobre arena dura no es adecuado para el entrenamiento de la máxima velocidad. Aunque este método de entrenamiento ejerce una sobrecarga sustancial sobre el atleta, según se observa en la reducción de la amplitud y la velocidad de carrera, cuando se compara con carreras sin resistencia, además induce cambios indeseados en la técnica de carrera del atleta (51, 303).

Debido a los escasos estudios encontrados, es difícil establecer las cargas de entrenamiento para los sprints en la playa. Se puede suponer que en las carreras en la playa la magnitud de la fuerza disipada en cada apoyo depende de las propiedades físicas de la arena. Por lo tanto, si se quiere imitar la fase de máxima velocidad, la arena debe ser lo más dura posible. A partir de los estudios realizados se puede concluir que esprintar sobre arena de playa puede ser un

ejercicio general de acondicionamiento, y quizá puede ser válido, también, para mejorar el rendimiento en la fase de aceleración.

**Tabla 21.** Cuadro resumen de entrenamiento para los sprints sobre la arena de la playa (30, 31, 224).

| Carga de entrenamiento   |                            |   |                   |                       | Principio de especificidad |               |               |                 |
|--|----------------------------|---|-------------------|-----------------------|----------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad   | Recuperación<br>Rep/series | Duración  | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.             | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| Pérdida<br>< 10% de<br>máx. vel.<br>¿?   | 3-5 min/<br>6-8 min        | <b>Aceler.:</b><br>15-30 m<br><b>Máx vel.:</b><br>30-60 m | 900               | 2-3 veces             | 3-4                        | 3             | 3             | 3               |
| Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; aceler: aceleración; máx. = máxima; vel. = velocidad. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad. |                            |   |                   |                       |                            |               |               |                 |

### Cuestas

Otro de los métodos resistidos más usados es el sprint sobre superficies inclinadas. A este tipo de método se le conoce, popularmente con el nombre de cuestas.

Algunos entrenadores han sugerido que las cuestas incrementan la carga sobre los extensores de la cadera, con el fin de maximizar la amplitud de zancada (45). Debido a que los extensores de cadera son unos de los grupos musculares más importantes en el sprint (173, 219), las ganancias producidas por este método

en los atletas podrían mejorar la amplitud de zancada al correr en superficie plana.

Los efectos puntuales sobre la cinemática del sprint al correr sobre una cuesta con una inclinación de 3° son: 1) una disminución significativa de la longitud de zancada y de la velocidad máxima de carrera; 2) un aumento significativo de las distancias de aterrizaje, despegue y de vuelo; 3) un aumento significativo de la inclinación del tronco en el apoyo y en el despegue (304).

Sólo hay un estudio experimental de entrenamiento a corto plazo donde se utilizó este método de entrenamiento (15). El objetivo del estudio fue examinar el efecto de esprintar en superficies con cuestas de 3° (cuestas arriba y abajo) sobre la cinemática del sprint y algunas variables fisiológicas. Para ello, 25 estudiantes de educación física fueron distribuidos en cuatro grupos de entrenamiento (combinación de cuestas; cuestas abajo; cuestas arriba; y horizontal) y en un grupo control, con siete participantes en cada grupo. El entrenamiento realizado fue el siguiente: series de 12 x 40 m o 6 x 80 m, dependiendo del grupo, con un volumen total de 480 m por día, tres veces por semana, durante seis semanas. Se realizaron test pre y post-entrenamiento para examinar el efecto sobre la velocidad máxima de carrera en 35 m, sobre las distintas variables cinemáticas y sobre la potencia anaeróbica máxima. La velocidad máxima de carrera y la frecuencia de zancada incrementaron de forma significativa ( $p < 0.05$ ) en el test de 35 m, un 3.5 y 3.4% respectivamente en el grupo de entrenamiento combinado.

Un 1.1 y un 2.4% en el de cuestas arriba, mientras que el tiempo de vuelo se acortó sólo para el grupo combinado un 4.3%. No se encontraron diferencias significativas en el grupo horizontal y tampoco en el control. Tampoco se encontraron cambios significativos en las características generales de la postura ni en la potencia anaeróbica pico. Los autores concluyeron que el entrenamiento combinado de cuestas es más efectivo que el entrenamiento horizontal para mejorar el rendimiento en la fase de máxima velocidad (15).

Con el fin de establecer la carga en el sprint, Dintiman et al. (305), basándose en la observación, sugirió que la inclinación de las cuestas debe ser aquella que no comprometa la técnica de carrera. Recomendó, para la fase de aceleración, una inclinación de 8-10°, y reducir estos grados progresivamente con el fin de trabajar la fase de máxima velocidad.

c) Métodos asistidos

El entrenamiento asistido es un método de entrenamiento que permite al atleta correr a velocidades mayores de las que es capaz de hacerlo bajo condiciones normales (31). Los métodos asistidos más usados son los sprints con gomas, las cuestas abajo, o esprintar sobre un tapiz rodante a alta velocidad. Faccioni (41) indica que los métodos asistidos permiten a los atletas correr a altas frecuencias de zancada, que luego pueden ser transferidas a los sprints normales. Sin embargo, el autor se basa en la observación y no en el método científico.

Los efectos puntuales observados al realizar cuestas abajo con una inclinación de 3° son: 1) un incremento significativo de la amplitud de zancada y de la velocidad máxima horizontal; 2) un aumento de la distancia de aterrizaje; y 3) modificaciones significativas en el ángulo del muslo, rodilla y cadera (304).

Además, Paradisis y Cooke (15) encontraron que un entrenamiento asistido bajando una cuesta de 3° durante seis semanas produce una mejora significativa de la velocidad horizontal de carrera (1.1%), de la frecuencia de zancada (2.3%) y disminuye significativamente el tiempo de contacto (2.2%). Al mismo tiempo, no produce cambios significativos en la configuración de los segmentos y articulaciones (15).

| <b>Carga de entrenamiento</b>  |                            |   |                   |                       | <b>Principio de especificidad</b> |               |               |                 |
|--|----------------------------|---|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad   | Recuperación<br>Rep/series | Duración  | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.                    | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| Aumento<br>Máx. del<br>6-10% de<br>máx. vel.   | 3-5 min/<br>6-8 min        | <b>Aceler.:</b><br>15-30 m<br><b>Máx vel.:</b><br>30-40 m | 900               | 2-3 veces             | 3-4                               | 3-4           | 3-4           | 3-4             |
| Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; aceler: aceleración; máx. = máxima; vel. = velocidad. Especificidad del método respecto al sprint: 1 = poco específico; 5 = máxima especificidad. |                            |   |                   |                       |                                   |               |               |                 |

#### 2.4.2.4.3. Métodos terciarios

Por último, los métodos terciarios incluyen acondicionamiento básico, entrenamiento de fuerza y potencia, y de resistencia a la velocidad. El entrenamiento de acondicionamiento busca mejorar la resistencia, la movilidad y la fuerza máxima, con el objetivo de realizar los ejercicios de velocidad de forma efectiva y saludable.

El objetivo de los métodos terciarios es el trabajo general del sprint, es decir, el trabajo de acondicionamiento y el complementario. Así, existe una amplia gama de métodos aplicables para la mejora del mismo. Los más usados en el entrenamiento de la velocidad son los métodos interválicos y de repeticiones, las auto-cargas, el entrenamiento en salas de musculación, la pliometría, los multilanzamientos y multisaltos, el entrenamiento vibratorio, la electroestimulación, el stretching, etc.

Debido a que las distintas manifestaciones de fuerza correlacionan estadísticamente con el rendimiento del sprint, tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad (281), en la presente revisión se explicarán únicamente los métodos de entrenamiento en salas de musculación.

a) Métodos de entrenamiento en salas de musculación para el sprint

Los métodos de entrenamiento en salas de musculación son ejercicios en los que se utiliza una sobre-carga con el fin de aumentar la fuerza muscular.

Normalmente, esta sobre-carga se aplica mediante pesos libres o con máquinas. Esto causa en los deportistas una carga extra, producida por la fuerza de gravedad, que provocará una adaptación beneficiosa del sistema músculo-esquelético. De hecho, el entrenamiento de musculación se ha mostrado como el método más efectivo para el desarrollo de la fuerza músculo-esquelética, prescribiéndose por las principales organizaciones de acondicionamiento físico y salud (306, 307).

Los efectos/adaptaciones del entrenamiento en salas de musculación se pueden modificar dependiendo de las características de la carga usada (intensidad, volumen, frecuencia, etc.) (307). Así, cada método se diferencia del resto por las diferencias en la manipulación de estas características. De forma general, los objetivos del entrenamiento en salas de musculación son: desarrollo de la fuerza máxima (a consecuencia de la mejora de la coordinación intramuscular o de la hipertrofia), la potencia y la resistencia muscular local (307).

Para mejorar el rendimiento en el sprint, el entrenamiento específico se debe combinar con el entrenamiento de la fuerza y la potencia (70, 258). Sin embargo, de acuerdo con el *principio de especificidad*, el acondicionamiento en el sprint debería usar ejercicios que imiten las demandas del sprint. El entrenamiento con sobre-cargas se debería realizar a una longitud muscular apropiada y una posición concreta (308), con similares patrones de movimiento (309).

La velocidad de ejecución parece ser un factor clave en las transferencias positivas del entrenamiento con sobre-cargas hacia el sprint. Algunas investigaciones han sugerido que el entrenamiento con sobre-cargas enfatizando el desarrollo de la potencia y la velocidad (bajas cargas) podría inducir cambios positivos en algunas de las variables importantes en el sprint, como son: el tipo de fibra muscular (63, 310), el ángulo de peneación (17), el reclutamiento de las unidades motoras, la activación selectiva muscular, la sincronización de las unidades motoras y el ratio de desarrollo de fuerza (311). Sin embargo, otros autores creen que el aumento de la fuerza a baja velocidad (altas cargas) es necesario para conseguir ganancias en la fuerza a alta velocidad (312), aunque el entrenamiento debería imitar el rango específico de movimiento de la actividad (313). El entrenamiento a baja velocidad puede ser necesario para proporcionar un mayor crecimiento muscular y una alta fuerza de contracción (311). Por lo tanto, se podría decir que la periodización del entrenamiento, que usa cargas, progresando de bajas a altas velocidades es beneficiosa para los velocistas (314).

Distintos estudios han observado mejoras en la FDM tras aplicar entrenamientos en salas de musculación (17, 264, 315, 316). Blazeovich et al. (315) comprobaron que un entrenamiento combinado de fuerza y velocidad mejora, aunque de forma no significativa, la FDM del tren inferior un 12%. La muestra estaba compuesta por dos grupos de velocistas de nivel nacional que entrenaron de forma similar con la única diferencia de la modificación de la velocidad de ejecución en los ejercicios de FDM. La velocidad de ejecución en el grupo a alta

velocidad de ejecución (GV) era máxima en la fase concéntrica y dos veces la fase excéntrica, en el grupo a baja velocidad (GB) la velocidad era de 2 s en ambas fases; la intensidad en el GV fue de 30-50% del 1-RM, mientras que en el GB fue del 70-90% del 1-RM. De igual forma, McBride et al. (264) encontraron ganancias en el 1-RM del 8.2% y del 10.2%, en dos grupos de atletas que entrenaron durante 8 semanas, 2 días por semana, con cargas que maximizaban la potencia ante resistencias bajas (SJ con una sobrecarga de 30 kg) o ante resistencia altas (SJ con una carga de 80 kg). El estudio de Jones et al. (316) ha mostrado ganancias mayores a las de los estudios mencionados. Dicho trabajo se realizó con jugadores de béisbol ( $N = 30$ ) que entrenaron 4 días por semana al 40-60% de 1-RM o al 70-90% de 1-RM durante 10 semanas. Las mejoras en FDM fueron mayores en el grupo que entrenó con cargas altas 16.3% vs. 11.5% del grupo que entrenó con cargas bajas. Ambos grupos de entrenamiento realizaron la fase concéntrica del ejercicio a máxima velocidad. La interpretación que se puede obtener es que los mayores incrementos en fuerza máxima se producen al realizar entrenamientos con altas intensidades (70-90% de 1-RM) realizando el gesto a máxima velocidad en la fase concéntrica.

| <b>Carga de entrenamiento</b> |                            |                          |                   |                       | <b>Principio de especificidad</b> |               |               |                 |
|-------------------------------|----------------------------|--------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------------------|---------------|---------------|-----------------|
| Intensidad                    | Recuperación<br>Rep/series | Duración                 | Volumen<br>máximo | Frecuencia<br>semanal | Patrón<br>mov.                    | Vel.<br>cont. | Tipo<br>cont. | Fuerza<br>cont. |
| 4-12<br>Repet.<br>Máx.        | 3-5 min                    | Depende<br>del<br>método | 10 series         | 2-5                   | 3                                 | 3             | 2             | 3               |

Mov. = movimiento; vel. = velocidad; cont. = contracción; rep. = repeticiones; aceler. = aceleración

aceleración; máx. = máxima; vel. = velocidad. Especificidad del método respecto al sprint:  
1 = poco específico; 5 = máxima especificidad.

#### 2.4.2.4.4. Resumen

Para finalizar comentar que se ha demostrado que existe una gran variedad de métodos y medios para el entrenamiento del sprint, bien sean generales, específicos o competitivos; o como se ha descrito en la presente revisión: primarios, secundarios o terciarios.

Se ha observado, además, que algunos de ellos están estudiados científicamente. Sin embargo, muchos de ellos carecen de una demostración empírica. Cabe resaltar la falta de estudios referentes a deportistas entrenados, principalmente en los trabajos que intentan explicar las adaptaciones que producen los métodos resistidos, y más concretamente los arrastres de trineo, sobre atletas experimentados. En este sentido, y teniendo en cuenta la alta utilización de estos métodos en el entrenamiento del sprint, se precisa de un conocimiento riguroso de los efectos que producen los mismos en este tipo de deportistas.



---

### 3. OBJETIVOS E HIPÓTESIS



## OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### 3.1. OBJETIVOS

Conocer el efecto del entrenamiento de cuatro semanas con arrastres de trineo sobre:

a) Los tiempos y las velocidades tanto en la fase de aceleración, de transición, como en la fase de máxima velocidad.

b) La amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje, tiempo de contacto, tanto en la fase de aceleración como en la de máxima velocidad.

c) Los desplazamientos y velocidades lineales y angulares de los segmentos y articulaciones en los instantes claves de la zancada, tanto en la fase de aceleración como en la de máxima velocidad.

d) La curva de fuerza-velocidad, fuerza dinámica máxima, fuerza isocinética máxima, tanto en valores absolutos como relativos al peso corporal del tren inferior.

e) El rendimiento en saltos verticales (SJ, SJM, CMJ, DJ) y algunas variables cinéticas relacionadas (fuerza, potencia, índice de elasticidad, etc.).

- f) La composición corporal y el somatotipo de los atletas.
  
- g) La rigidez articular del tren inferior (total y vertical), así como sobre las fuerzas de reacción del suelo en la fase de máxima velocidad.
  
- h) Conocer las diferentes adaptaciones que produce cada una de las formas de entrenamiento estudiadas.

### 3.2. HIPÓTESIS

El entrenamiento con arrastres de trineo durante cuatro semanas en atletas entrenados:

- a) Produce mejoras en los tiempos y en las velocidades tanto en la fase de aceleración, de transición, como en la fase de máxima velocidad.
  
- b) Afecta positivamente a la amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje y tiempo de contacto, tanto en la fase de aceleración como en la fase de máxima velocidad.

c) Produce mejoras en los desplazamientos y velocidades lineales y angulares de los segmentos y articulaciones en los instantes claves de la zancada, tanto en la fase de aceleración como en la de máxima velocidad.

d) Desplaza hacia la derecha la curva de fuerza-velocidad, mejora la fuerza dinámica máxima y fuerza isocinética máxima, tanto en valores absolutos como relativos al peso corporal del tren inferior.

e) Produce mejoras en el rendimiento en saltos verticales (SJ, SJM, CMJ, DJ) y algunas variables cinéticas relacionadas (fuerza, potencia, índice de elasticidad, etc.).

f) Aumenta la masa muscular de los atletas.

g) Incrementa la rigidez músculo-articular de la extremidad inferior (vertical y total) en la fase de máxima velocidad.

h) Es tan beneficioso o más que un entrenamiento tradicional de velocidad para mejorar el rendimiento tanto en la fase de aceleración como de máxima velocidad del sprint.

### 3.3. LIMITACIONES

Una de las principales limitaciones del presente estudio fue el tamaño muestral (11 sujetos en cada grupo;  $N = 22$ ). Las causas de este bajo número de participantes fueron dos. En primer lugar, sólo se pudo reclutar a 30 sujetos que cumplieran con las características requeridas de especialidad deportiva, años de entrenamiento, etc. Los requisitos planteados fueron estrictos y de esta forma fue difícil encontrar sujetos que los cumplieran por completo. En segundo lugar, se requirió un compromiso durante un tiempo prolongado difícil de cumplir, por lo que se produjeron algunas muertes experimentales. Hay que tener en cuenta que para un mayor control de los deportistas, se necesitaba una alta implicación de los entrenadores en el proceso, de ahí que tampoco se pudiera aumentar la muestra.

Al acotar tanto las características de la muestra se tuvieron que combinar sujetos de género femenino y masculino. Este hecho hace que existieran diferencias de nivel intra-grupo. Para reducir o minimizar el efecto de este aspecto, se realizó una distribución aleatoria, estratificando por géneros. No obstante, se realizó un análisis específico de los estratos para observar si la distribución realizada afectaba a los resultados de los grupos.

Se produjo una desproporción en el número de sujetos de cada género por grupo. En un grupo hubo cinco chicas y seis chicos, mientras que en otro grupo hubo una distribución de tres chicas y ocho chicos. La causa de esta

desproporción fue la muerte experimental producida, ya que en un principio había el mismo número de chicos y chicas en cada grupo.

Otra de las limitaciones importantes del estudio fue el bajo número de repeticiones analizadas en el análisis cinemático de los deportistas. Sólo se realizó un análisis fotogramétrico por sujeto. Hunter et al. (317) recomiendan realizar un análisis con los valores medios en varias repeticiones para aumentar la fiabilidad de los resultados. Explican que para algunas variables existen ICC's por debajo del 0.80 al realizar una sola repetición (por ejemplo, las velocidades angulares). Sin embargo, la muestra que utilizan ellos es heterogénea (atletas, futbolistas, jugadores de rugby, etc.) y la del presente estudio es homogénea (atletas entrenados y especialistas en carreras de velocidad, saltos y decatletas). La justificación de esta limitación reside en el tiempo disponible para realizar todos los test. De esta forma, se tuvo que seleccionar el mínimo número fiable para poder realizar todos los test necesarios para cumplir con los objetivos de la tesis. Este aspecto representa otra limitación de la tesis, ya que no se disponía de mucho tiempo para realizar todos los test deseados.

Los tiempos de contacto en la fase de aceleración se obtuvieron del análisis fotogramétrico en 2D con una cámara a 50 Hz. Esta frecuencia de registro no es la adecuada para medir los tiempos de contacto, ya que la sensibilidad mínima que debe poseer una cámara para registrar los tiempos de contacto en la fase de

aceleración debe ser de al menos 100 Hz. Por lo tanto, los tiempos de contacto en la fase de aceleración no son muy fiables y se deben tomar con cautela.

La rigidez músculo-articular se obtuvo por un modelo matemático, a partir de diferentes medidas. A pesar de que las medidas son de obtención sencilla y con alta fiabilidad, el error mínimo en el registro de alguna de ellas, puede provocar un error en cadena incidiendo en el resultado final.

Por último, las carreras se realizaron en una pista al aire libre, y aunque se controló la velocidad del viento, hubo un margen de  $\pm 2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en cada repetición. Por lo tanto, el rendimiento pudo estar influenciado, en parte, por el mismo.

#### 3.4. DELIMITACIONES

Mientras que los sujetos del estudio fueron clasificados como “entrenados” sus historias de entrenamiento no fueron iguales. El programa de entrenamiento para las diferentes pruebas en atletismo está relacionado con las características de cada prueba. Se incluyó una fase de estandarización del entrenamiento de tres semanas para asegurar que el nivel de entrenamiento en la fase experimental era similar. Sin embargo, es difícil clasificar a todos los sujetos y delimitar los resultados de esta tesis. De cualquier forma, se puede asumir que los resultados se pueden dirigir a sujetos sanos, atletas entrenados durante ocho años, en disciplinas de velocidad, saltos y decatletas, hombres y mujeres, de una edad entre 18 y 30 años.



## 4. MÉTODO



## MÉTODO

A continuación se va a exponer el método llevado a cabo con el fin de lograr los objetivos marcados e intentar explicar las hipótesis establecidas. El método se ha dividido en los cinco apartados que a continuación se enumeran: 1) diseño de la investigación; 2) sujetos; 3) instrumentos; 4) procedimientos; y 5) análisis de datos.

### 4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se realizó un diseño cuasi-experimental intra e inter-sujetos (dos grupos) con pre-test y post-test. Se utilizó un grupo experimental (arrastres) y un grupo control. Los sujetos se distribuyeron de forma aleatoria en los grupos objetos de estudio. Sin embargo, se realizó una distribución estratificada por nivel, disciplina y por género, con el fin de aumentar la homogeneidad de los mismos. Debido a que el objetivo principal de este estudio fue el de comparar dos formas de entrenamiento de la velocidad entre sí, y no el de comprobar el efecto absoluto del entrenamiento, no se incluyó un grupo control sin entrenamiento.

#### 4.1.1. Variables

A continuación se van a definir las variables independientes, dependientes y contaminantes y de control, con el fin de exponer una visión general de las variables que fueron objeto de estudio.

#### 4.1.1.1. *Variables independientes*

Como variable independiente se fijó el tipo de entrenamiento de velocidad: con arrastres de trineo o sin arrastres.

El entrenamiento de velocidad (grupo control) consistió en carreras a máxima intensidad sobre una distancia de 30 m con una carrera previa de 20 m. Se seleccionó esta distancia debido a que se pretendió mejorar la fase de máxima velocidad. El entrenamiento con arrastres (grupo experimental) fue el mismo, pero utilizando arrastres de trineo. La carga utilizada provocó una pérdida de la máxima velocidad del 7.5%, debido a que el objetivo fue el de imitar el trabajo en la fase de máxima velocidad. Esta carga se seleccionó por medio de la aplicación de una ecuación de regresión calculada para tal fin (294) (Tabla 17, pág. 167).

#### 4.1.1.2. *Variables dependientes*

Las variables dependientes se han agrupado según sus características mecánicas. Se han diferenciado en cinemáticas, cinéticas, antropométricas y mecánico musculares-articulares.

## 4.1.1.2.1. Cinemáticas

a) *Tiempo en 0-15 m, 15-30 m, 30-50 m, 0-30 m y 0-50 m*: tiempo empleado en recorrer los primeros 15 m, del 15 al 30 m, del 30 al 50 m, del 0 al 30 y del 0 al 50 m. Se midió en segundos.

b) *Velocidad media en 0-15 m, 15-30 m, 30-50 m, 0-30 m y 0-50 m*: velocidad desarrollada al correr los primeros 15 m, del 15 al 30 m, del 30 al 50 m, del 0 al 30 y del 0 al 50 m. Se midió en metros por segundo.

c) *Velocidad máxima de carrera*: velocidad instantánea máxima horizontal registrada durante los 50 m. Se midió en metros por segundo.

d) *Amplitud de zancada*: es la distancia existente entre el contacto de un pie con el suelo hasta el contacto del pie contrario. Se determinó a partir del primer fotograma en el que el pie entra en contacto con el suelo, hasta el primer fotograma en el que el pie contrario entra en contacto con el suelo. Se midió en centímetros.

e) *Frecuencia de zancada*: es la inversa del tiempo de zancada. Se registró desde el contacto de un pie hasta el contacto del otro pie. Se expresó en Hertzios.

f) *Tiempo de contacto*: es el tiempo en el que el pie está en contacto con el suelo. Se determinó a partir del primer fotograma en el que el pie entra en contacto con el suelo, hasta el primer fotograma en el que el pie deja de estar en contacto con el suelo. Se midió en segundos.

g) *Distancia de aterrizaje*: distancia horizontal existente entre la vertical del COM y la punta del pie en el instante del contacto del pie con el suelo. Se determinó a partir del primer fotograma en el que el pie entra en contacto con el suelo. Se midió en centímetros.

h) *Ángulos articulares y segmentarios*: ángulos formados en las articulaciones y ángulos segmentarios, que indican la orientación de los segmentos respecto a la vertical o la horizontal. Se midieron en grados.

i) *Velocidad instantánea del COM*: magnitud vectorial que relaciona la distancia recorrida por el COM por unidad de tiempo. Resultante de la velocidad del componente vertical y horizontal. Se expresó en metros por segundo.

j) *Velocidades instantáneas angulares articulares y segmentarias*: magnitud que relaciona el cambio de orientación de las articulaciones o segmentos por unidad de tiempo. Se expresó en grados por segundo.

## 4.1.1.2.2. Cinéticas

a) *Fuerza máxima isotónica*: fuerza máxima aplicada en media sentadilla, en una repetición concéntrica. Se expresó en kilogramos de fuerza, y en kilogramos de fuerza por peso corporal.

b) *Torque máximo isocinético*: torque máximo aplicado a distintas velocidades constantes ( $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1}$  y  $450^\circ \cdot s^{-1}$ ). Se expresó en Newtons multiplicado por metro.

c) *Potencia máxima con cargas*: valor máximo de potencia alcanzado, en la fase concéntrica, en cada repetición de las series (30, 45, 60, 70 y 80% de 1-RM) realizadas en media sentadilla. Se expresó en Watios.

d) *Potencia máxima con saltos verticales*: valor máximo de potencia alcanzado al realizar un SJ, un SJM y un CMJ. Se expresó en Watios.

e) *Rendimiento en distintos saltos verticales*: altura máxima alcanzada por el COM durante la realización de un SJ, un SJM, un CMJ y un DJ. Se midió en centímetros.

f) *Fuerza aplicada a los 100 ms en el SJM*: es el valor de fuerza máxima aplicada en los 100 ms desde el comienzo de la ejecución del SJ a 120°. Se midió en Newtons.

g) *Índice de elasticidad*: diferencia entre la altura del CMJ menos el SJ, entre el SJ.

h) *Índice del DJ*: mejor relación encontrada entre la altura del DJ y el tiempo de contacto usado para conseguir dicha altura. Se expresó en centímetros por segundo.

i) *Fuerzas de reacción del suelo en carrera*: modelación de la fuerza aplicada al suelo por el deportista en la fase de máxima velocidad (318). Se expresó en kilonewtons.

#### 4.1.1.2.3. Antropométricas

a) *Perímetro del muslo*: es el perímetro medido a la altura de la máxima circunferencia del muslo. Se expresa en centímetros.

b) *Perímetro de la pierna*: es el perímetro medido a la altura de la máxima circunferencia de la pierna. Se expresa en centímetros.

c) *Pliegue del muslo anterior*: medición del grosor del pliegue del muslo. El pliegue está situado en el punto medio de la línea que une el pliegue inguinal y borde proximal de la rótula, en la cara anterior del muslo. El pliegue es longitudinal y se mide a lo largo del eje mayor del fémur. Se mide en milímetros.

d) *Pliegue de la pierna medial*: medición del espesor del pliegue de la piel de la pierna. Este pliegue está localizado a la altura de la máxima circunferencia de la pierna, en su cara medial. Es vertical y se mide paralelo al eje longitudinal de la pierna. Se mide en milímetros.

#### 4.1.1.2.4. Mecánico muscular-articular

a) *Rigidez de la extremidad de apoyo*: es el ratio de fuerza máxima hasta alcanzar la máxima compresión de la extremidad inferior a la mitad de la fase de apoyo (204). Se calculó con una ecuación desarrollada a partir de las siguientes variables: tiempo de vuelo, tiempo de contacto, longitud de la extremidad inferior, masa corporal y velocidad de carrera (318). Se expresó en kilonewtons por metro.

b) *Rigidez vertical*: describe el desplazamiento vertical del COM durante el contacto (318). Se calculó con una ecuación desarrollada a partir de las siguientes variables: tiempo de vuelo, tiempo de contacto, longitud de la

extremidad inferior, masa corporal y velocidad de carrera (318). Se expresó en kilonewtons por metro.

#### 4.1.1.3. *Variables de control*

##### 4.1.1.3.1. Velocidad del viento

Se controló el límite de velocidad del viento durante cada sprint. Se midió en metros por segundo.

##### 4.1.1.3.2. Superficie de la pista de entrenamiento

Se utilizó la misma superficie de pista para todos los atletas. En el presente estudio se utilizó una superficie de la marca Rekortan (Rekortan M99, APT Corp., USA).

##### 4.1.1.3.3. Actividad deportiva extra y asistencia

Actividad física que pudo influir en el efecto del entrenamiento realizado. La asistencia hace referencia al número de sesiones que realizaron los atletas. Se estableció como límite de falta de asistencia el 20% del total de sesiones. La actividad deportiva extra se registró mediante un diario de entrenamiento

desarrollado para tal fin. La asistencia fue controlada por el entrenador correspondiente.

#### 4.1.1.3.4. Composición corporal

a) Talla: distancia entre el vértex y el plano de sujeción del sujeto sin calzado. Se midió en centímetros.

b) Peso: peso corporal del sujeto. Se midió en kilogramos de fuerza.

c) Porcentaje de grasa corporal: porcentaje de grasa corporal del sujeto con respecto al peso corporal. Se expresó como porcentaje.

d) Porcentaje de masa magra: porcentaje de masa muscular del sujeto con respecto al peso corporal. Se expresó como porcentaje.

#### 4.1.1.3.5. Fisiológicas

a) FC reposo: frecuencia cardiaca de los sujetos en el momento de levantarse. Se expresó en pulsaciones por minuto.

#### 4.1.1.3.6. Psicológicas

a) Estado de ánimo: estado psicológico del deportista a lo largo de la semana. Se usó una tabla de corrección elaborado para determinar el estado anímico de los deportistas (Anexo 1 y 2). Este test se usa para controlar si se ha producido sobreentrenamiento en el sujeto.

#### 4.1.2. Planificación

El estudio constó de tres fases bien diferenciadas. Una fase de estandarización (3 semanas), una fase de pre-test (1 semana), una fase experimental (4 semanas), y una fase de post-test (1 semana). El entrenamiento se realizó en el periodo preparatorio, en la fase específica de entrenamiento (fuera del periodo de competición) (40).

La fase de estandarización se realizó con el fin de homogeneizar, en la medida de lo posible, las posibles adaptaciones que se pudieran producir gracias al entrenamiento previo realizado, además de desarrollar la fuerza máxima. Tras el periodo de estandarización, se realizaron los test de medición inicial, con el objetivo de controlar todas las variables objeto de estudio antes de comenzar con la fase experimental. Después de realizar la medición inicial de todos los sujetos, se comenzó con la aplicación del entrenamiento específico. El entrenamiento fue el mismo tanto para el grupo control como para el grupo experimental, con la única diferencia de que el grupo control no realizó entrenamiento resistido. Por lo tanto, el volumen de entrenamiento fue el mismo en ambos grupos. Al finalizar el

periodo de entrenamiento se volvió a realizar los mismos test que en la valoración inicial.

Nota: se escogió este tipo de planificación debido a que es la utilizada por los entrenadores en pruebas de velocidad (27, 319).

#### 4.2. SUJETOS

La muestra inicial objeto de estudio estuvo formada por 30 atletas (hombres y mujeres) velocistas, decatletas y saltadores de longitud y triple salto experimentados (> 8 años de entrenamiento). El estudio fue completado por veintidós atletas, de los cuales catorce fueron hombres y ocho fueron mujeres. Los grupos que finalizaron el estudio son los siguientes: grupo experimental (GE) = seis hombres y cinco mujeres; grupo control (GC) = ocho hombres y tres mujeres. Las características generales de los deportistas se pueden observar en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Características generales de los grupos de entrenamiento.

|                     | Edad<br>(años) | Peso<br>(kgf) | Talla<br>(cm) | Altura<br>trocánter<br>(m) | Experiencia<br>entrenamiento<br>(años) |
|---------------------|----------------|---------------|---------------|----------------------------|--|
| GE<br><i>n</i> = 11 | 21.5 ± 2.2     | 69.8 ± 14.7   | 173.0 ± 10.5  | 0.90 ± 0.07                | 9.6 ± 1.8                              |
| GC<br><i>n</i> = 11 | 20.9 ± 3.1     | 69.2 ± 11.8   | 179.2 ± 8.4   | 0.92 ± 0.05                | 8.2 ± 2.3                              |

GE = grupo experimental; GC = grupo control.

La muestra se extrajo de la población de atletas tanto de nivel regional como nacional que entrenaban en la Región de Murcia. La selección de la muestra fue por cuotas (320). La distribución de la misma fue aleatoria y estratificada. Los estratos fueron los siguientes: nivel del atleta (mediante la marca en 100 m.l.), disciplina (velocistas de distancias cortas: 60-100 m.l., velocistas de distancias largas: 200-400 m.l., decatletas y saltadores), sexo (masculino y femenino). Se realizó una consulta previa a los entrenadores con el fin de que autorizaran a los atletas a participar en el estudio, siempre que cumplieran las siguientes condiciones:

- Edades comprendidas entre los 18 y 30 años.
- Marca en 100 m.l. entre 10.5 s y 11.5 s para chicos y entre 12.0 s y 13.0 s para chicas (321).
- Entrenaran entre cuatro y seis sesiones por semana, al menos dos horas para aquellos que sólo entrenaban cuatro sesiones, y un mínimo de una hora y media para aquellos que entrenaban seis sesiones.
- Un mínimo de cuatro años entrenando la fuerza de forma regular con un mínimo de dos días a la semana, trabajando ejercicios tradicionales de fuerza del tren inferior (ej.: media sentadilla). Los atletas debían haber entrenado con el

objetivo de desarrollar la fuerza máxima dinámica y la potencia en la última temporada (322).

- Técnica estable y sólida de carrera. Se ha determinado que se requiere un mínimo de ocho y diez años de entrenamiento en la práctica deportiva del atletismo para establecer que la técnica es estable y sólida (323).

- Haber utilizado métodos resistidos en su entrenamiento de forma habitual (mínimo de dos mesociclos en las últimas dos temporadas).

Todos los atletas y entrenadores fueron informados de las actividades a realizar, de las características de los protocolos, posibles lesiones, beneficios del entrenamiento y responsabilidad de los investigadores. Además, se les explicó que en cualquier momento podían abandonar el estudio si así lo deseaban sin tener que dar ningún tipo de justificación. Tras la explicación cumplieron un consentimiento informado que fue firmado por todos los atletas (Anexo 3). En el mismo se detalló que se han tenido en cuenta todos los aspectos éticos exigidos por el Comité Ético de la Universidad Católica San Antonio de Murcia.

#### 4.3. INSTRUMENTOS

Se utilizó el siguiente instrumental con el objetivo de controlar el efecto de las variables independientes sobre las variables dependientes. Además, se

describe el material usado para el registro de las variables contaminantes y de control. Se presentan, también, los coeficientes de variación inter e intra-sesión calculados en estudios con metodologías similares. El orden de presentación de este material es: material usado para la medición de las variables cinemáticas, variables cinéticas y variables antropométricas; y material usado para la medición de las variables contaminantes y de control.

#### 4.3.1. Variables dependientes

##### 4.3.1.1. *Cinemáticas*

###### 4.3.1.1.1. Videocámaras

Para realizar la medición de los tiempos de apoyo, amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje, ángulos articulares y segmentarios, velocidad del COM, velocidades angulares articulares y segmentarias y aceleraciones del COM se utilizaron dos cámaras de video. Se utilizó una cámara para la fase de máxima velocidad (Redlake, Tucson, AZ). Se utilizó otra cámara para la fase de aceleración (Canon XM-1 digital miniDV, Tokyo, Japan). La digitalización se realizó con el programa de digitalización Kwon3D 3.1. (Visol, Cheolsan-dong, Korea).

###### 4.3.1.1.2. Marco de calibración

Como marco de calibración se utilizó una barra de 2 m marcada cada 0.5 m con dos niveles para asegurar su verticalidad.

#### 4.3.1.1.3. Radar

Para la medición de la máxima velocidad se utilizó un radar (StalkerPro, Plano, TX) con frecuencia de muestreo de 33.3 Hz y con una sensibilidad de  $0.045 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

#### 4.3.1.1.4. Células fotoeléctricas

Para la medición del tiempo empleado en recorrer las distancias se utilizaron cuatro barreras de células fotoeléctricas (BioMedic, Barcelona, España) con una sensibilidad de 0.01 s. Se ha publicado que la metodología utilizada en la recogida de esta variable posee un coeficiente de variación (CV) intra-sesión de 0.9% (324) e inter-sesión de 0.2% (249).

#### 4.3.1.2. *Cinéticas*

##### 4.3.1.2.1. Encóder lineal rotatorio

Para la medición de la fuerza máxima dinámica y la potencia obtenida bajo condiciones isotónicas se utilizó un encóder lineal rotatorio (Globus, Codogne, Italy). Este instrumento posee una frecuencia de muestreo de 500 Hz. Se ha publicado que el CV intra-sesión para un SJ es de 2.8% para la valoración de la fuerza media y de 2.5% para el pico de potencia (249) y el ICC para la potencia media en sentadilla es de 0.74 (325).

Para la ejecución de los ejercicios isotónicos se usó una máquina de musculación (Gervasport, Madrid, España) con carriles para ejecutar media sentadilla. Esta máquina sólo permite movimientos verticales, aumentando la fiabilidad de las mediciones con el encóder lineal rotatorio (326).

#### 4.3.1.2.2. Dinamómetro isocinético

Para la medición de la fuerza y la potencia bajo condiciones isocinéticas se utilizó un dinamómetro isocinético (Biodex 6000, New York, NY). Este instrumento presenta una sensibilidad de 0.7 N·m. Se ha publicado que la metodología usada posee un CV intra-sesión de 2.4% (327) e inter-sesión de 4.1% (328).

#### 4.3.1.2.3. Plataforma de fuerzas

Para la medición de la fuerza y potencia con saltos se utilizó la plataforma de fuerzas extensométrica (IBV Dinascán 600M, Valencia, España). Se utilizó una frecuencia de muestreo de 500 Hz. Se ha publicado que la metodología usada posee un CV intra-sesión de 2.5-3.3% (277, 329), e inter-sesión de 3.0% y 3.8% en un SJ y un CMJ, respectivamente (329).

#### 4.3.1.2.4. Goniómetro

Para la medición de los ángulos del tren inferior para la correcta ejecución de los saltos se utilizó un goniómetro (Talmed Inox, Madrid, España) con una sensibilidad de 1°.

#### 4.3.1.3. Antropométricas

##### 4.3.1.3.1. Cinta métrica

Para realizar la medición de los perímetros se utilizó una cinta métrica inextensible (Holtain, Crymych, UK) con sensibilidad de 1 mm.

##### 4.3.1.3.2. Plicómetro

Para realizar la medición de los pliegues se utilizó un plicómetro (Holtain, Crymych, UK) con una sensibilidad de 0.2 mm.

#### 4.3.2. Variables contaminantes y de control

##### 4.3.2.1. *Anemómetro*

Para el control de la velocidad del viento se utilizó un anemómetro oficial (Cantabrian, Cambridge, England) con una sensibilidad de  $0.1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

##### 4.3.2.2. *Diario de entrenamiento*

Para el control de la actividad deportiva realizada diferente a la del propio entrenamiento programado, la FC de reposo y el sueño, se utilizó un diario de entrenamiento y práctica deportiva a lo largo de la semana (Anexo 1 y 2).

##### 4.3.2.3. *Material antropométrico*

Para el control de la talla y del peso se utilizó una báscula con tallímetro (Seca, Hamburg, Germany) con una sensibilidad en la talla de 1 mm y con una sensibilidad en el peso de 100 gf.

##### 4.3.2.4. *Cuestionario POMS*

- Para el control del estado de ánimo se administró el cuestionario POMS (Anexo 1 y 2).

#### 4.4. PROCEDIMIENTOS

A continuación se describen los procedimientos llevados a cabo para determinar el efecto de la variable independiente sobre las variables dependientes.

##### 4.4.1. Variables dependientes

###### 4.4.1.1. *Cinemáticas*

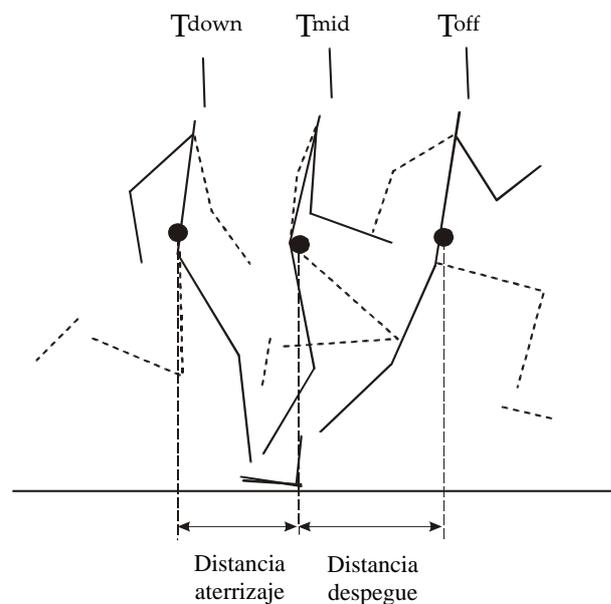
Para el control de los tiempos se realizaron sprints sobre una distancia de 50 m a máxima intensidad con salida de tacos. La carrera se dividió en distintas partes con el fin de seleccionar las fases de la carrera de velocidad (99). Las distancias seleccionadas fueron de 0-15 m (fase inicial de aceleración), 15-30 m (segunda fase de aceleración) y 30-50 m (fase de máxima velocidad) (23). La primera fotocélula se colocó a 1 m de la salida con el fin de discriminar el tiempo de reacción, a partir de ésta, se fueron colocando las células a las distancias seleccionadas. Las barreras se colocaron a la altura aproximada de la cintura. Los sprints se realizaron sobre una pista sintética de atletismo al aire libre. Los atletas llevaban su ropa habitual de entrenamiento y sus zapatillas de clavos. Antes de

comenzar los test, los participantes realizaron un calentamiento específico que consistía en 8 min de carrera continua a una frecuencia cardiaca de 140 pulsaciones por minuto, 8 min de estiramientos activos, 10 min de ejercicios de técnica de carrera y 2-4 sprints progresivos. Se realizaron cuatro repeticiones (dos cada día), seleccionando la que produjo mayor rendimiento. Se dejó una recuperación entre serie de 6 min, este tiempo es suficiente para una recuperación completa en sprints cortos (330). Se repitieron las carreras que superaban los 2 m·s<sup>-1</sup> de viento a favor.

Simultáneamente, en la primera repetición realizada correctamente, se realizó un estudio fotogramétrico en 2D. En el mismo se calculó: los tiempos de apoyo, la amplitud y frecuencia de zancada, la distancia de aterrizaje, los ángulos articulares y segmentarios, la velocidad del COM, las velocidades angulares articulares y segmentarias y las aceleraciones del COM. Para ello, se colocaron dos cámaras, una en la fase de aceleración y otra en la fase de máxima velocidad. Para la fase de máxima velocidad se utilizó una videocámara digital de alta velocidad que registra fotogramas a una frecuencia de 250 Hz. La filmación se realizó siguiendo las recomendaciones de protocolos de los estudios con características similares (48, 49, 295). Se cumple así la recomendación de que la frecuencia de grabación debe ser cuatro veces de la máxima frecuencia presente en el movimiento a analizar (331). Para carreras de velocidad este ancho de banda va desde 0 a 35 Hz (331). Para el registro de la fase de aceleración se utilizó una videocámara que registra fotogramas a una frecuencia de 50 Hz, debido a que los

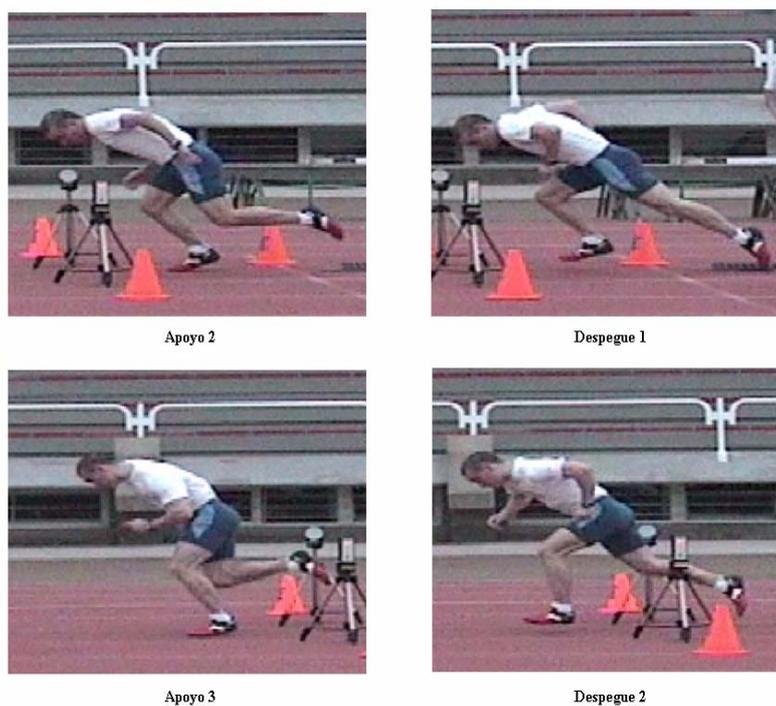
movimientos son más lentos. Las video cámaras se colocaron perpendiculares al plano sagital de los sujetos a 20 m de distancia, grabando en un espacio de 5 m a partir del metro 0 (fase de aceleración) y del metro 45 m (fase de máxima velocidad) desde la salida. Para el análisis en 2D, se siguieron las recomendaciones descritas por Bartlett (108). Como marco de calibración se utilizó una barra vertical de 2 m de altura marcada cada 0.5 m. Se usaron dos niveles, uno para cada plano perpendicular, para asegurar la verticalidad de la misma.

Se analizaron tres instantes característicos de la zancada en la fase de máxima velocidad: contacto del atleta ( $T_{down}$ ), paso del COM por el pie de contacto ( $T_{mid}$ ) y despegue del atleta ( $T_{off}$ ) (Figura 18).



**Figura 18.** Representación gráfica de la distancia de aterrizaje, despegue, así como de los instantes de contacto ( $T_{down}$ ), apoyo medio ( $T_{mid}$ ) y de despegue ( $T_{off}$ ).

Para el análisis de la amplitud, frecuencia, distancia de aterrizaje y tiempo de contacto de la fase de aceleración se consideraron los datos referentes a la zancada 2 y 3. Para el análisis cinemático restante se consideraron únicamente los datos del instante  $T_{down}$  y del instante  $T_{off}$  de la zancada 3 (Figura 19).



**Figura 19.** Determinación de los primeros instantes de despegue y contacto en la fase de aceleración.

Se digitalizó una repetición. El proceso de digitalización se llevó a cabo por medio del software Kwon3D 3.1. (Visol, Cheolsan-dong, Korea). El modelo mecánico seleccionado para el proceso fue de 22 puntos. Los parámetros segmentarios inerciales utilizados para el cálculo del COM fueron los descritos por de Leva (332). Una vez se digitalizaron las imágenes de la cámara, se reconstruyeron las coordenadas espaciales por medio del algoritmo DLT (333).

Se utilizó el filtro digital Butterworth con corte a una frecuencia de 6 Hz. Estas frecuencias son las recomendadas para movimientos realizados a esta velocidad (334). Para asegurar la calidad del registro en el proceso de digitalización, todas las digitalizaciones, en cada fase, fueron realizadas por el mismo sujeto. Además, se estudió la fiabilidad en la digitalización intra e inter-sujeto. Esta fue muy alta ya que se obtuvo un coeficiente de correlación intra-clase (ICC) de 0.999 al digitalizar tres instantes de la misma secuencia de video cinco veces. Se obtuvo un valor ICC de 0.998 cuando dos investigadores digitalizaron tres instantes de la misma secuencia.

A continuación se exponen los criterios utilizados para calcular los ángulos más relevantes en la carrera de velocidad. Se distingue entre dos grupos de ángulos: a) ángulos articulares, que son los formados entre dos segmentos unidos por una articulación; y b) ángulos posición, que son los que indican la orientación de un segmento con respecto a la dirección horizontal o vertical.

Se describe, en primer lugar, los ángulos articulares. Se ha marcado en rojo el ángulo a medir y en negro los ángulos auxiliares cuando son necesarios. También se han marcado las flechas que indican la dirección del vector de cada segmento. Se describen los criterios utilizados para calcular los vectores necesarios para cada ángulo.

### Ángulo del Hombro

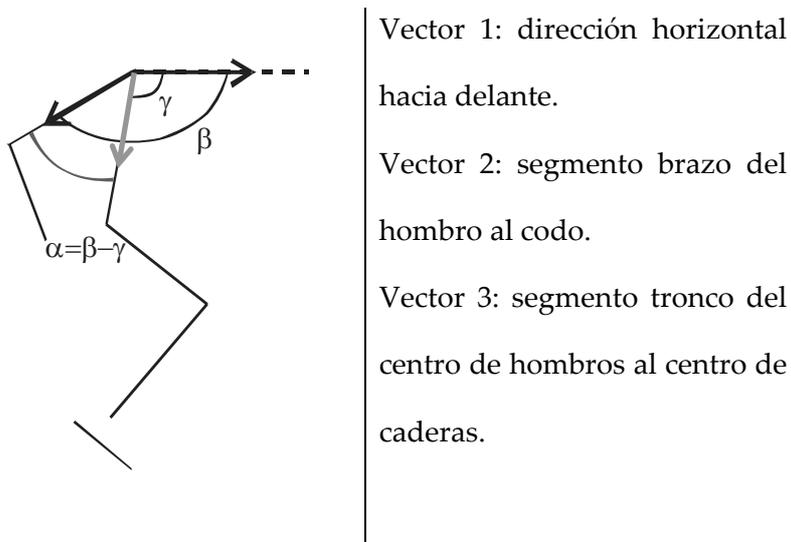
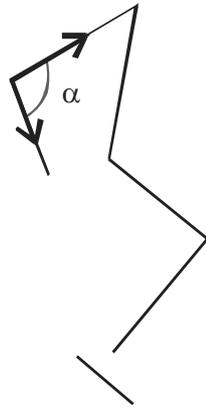


Figura 20. Ángulo del hombro.

## Ángulo del codo

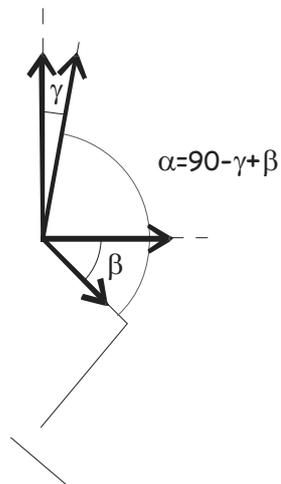


Vector 1: segmento brazo del codo al hombro.

Vector 2: segmento antebrazo del codo a la muñeca.

Figura 21. Ángulo del codo.

## Ángulo de la cadera



Vector 1: dirección vertical hacia arriba.

Vector 2: dirección horizontal hacia adelante.

Vector 3: segmento tronco del centro de caderas al centro de hombros.

Vector 3: segmento muslo del centro de caderas a la rodilla.

Figura 22. Ángulo de la cadera.

## Ángulo de la rodilla

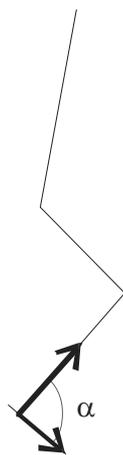


Vector 1: segmento muslo de la rodilla al centro de caderas.

Vector 2: segmento pierna de la rodilla al tobillo.

Figura 23. Ángulo de la rodilla.

## Ángulo del tobillo



Vector 1: segmento pierna del tobillo a la rodilla.

Vector 2: segmento pie del talón a la punta del pie.

Figura 24. Ángulo del tobillo.

A continuación se representan los criterios utilizados para calcular los ángulos posición de los segmentos.

#### Ángulo de posición del brazo

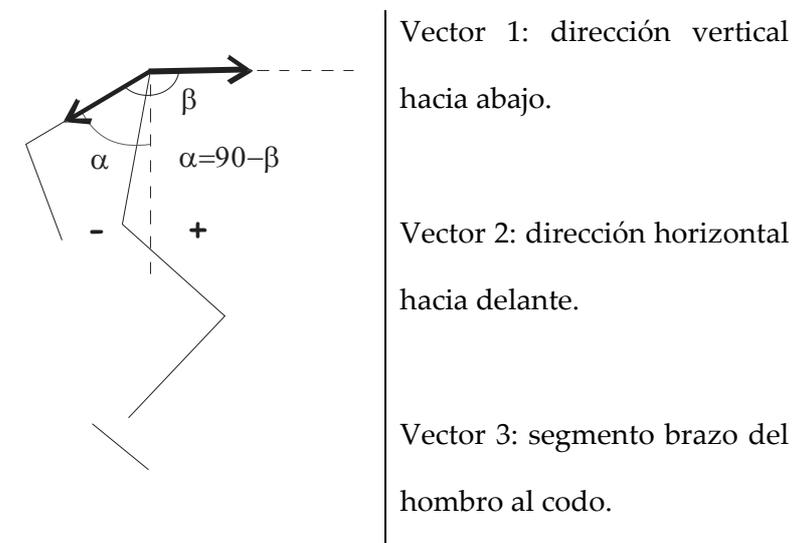
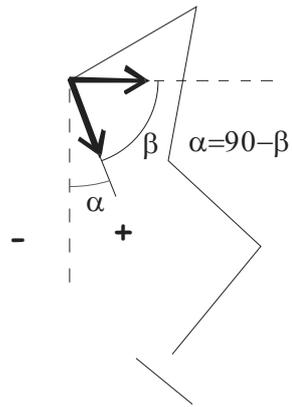


Figura 25. Ángulo de posición del brazo.

El ángulo representa la orientación respecto a la dirección vertical hacia abajo.

## Ángulo de posición del antebrazo



Vector 1: dirección vertical  
hacia abajo.

Vector 2: dirección horizontal  
hacia delante.

Vector 3: segmento antebrazo  
del codo a la muñeca.

Figura 26. Ángulo de posición del antebrazo.

El ángulo representa la orientación respecto a la dirección vertical hacia abajo.

## Ángulo de posición del tronco



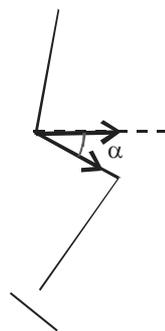
Vector 1: dirección vertical hacia arriba.

Vector 2: segmento tronco del centro de caderas al centro de hombros.

Figura 27. Ángulo de posición del tronco.

El ángulo representa la orientación respecto a la dirección vertical hacia arriba.

## Ángulo de posición del muslo



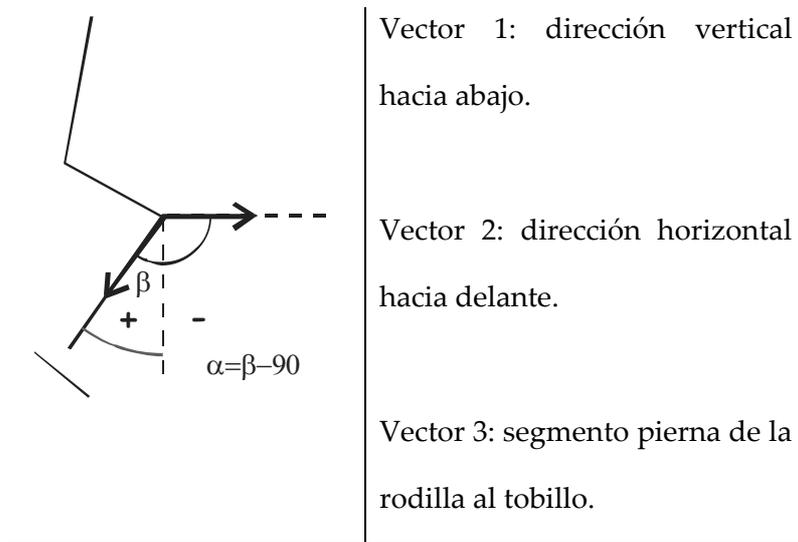
Vector 1: dirección horizontal hacia adelante.

Vector 3: segmento muslo del centro de caderas a la rodilla.

Figura 28. Ángulo de posición del muslo.

El ángulo representa la orientación respecto a la dirección horizontal hacia delante.

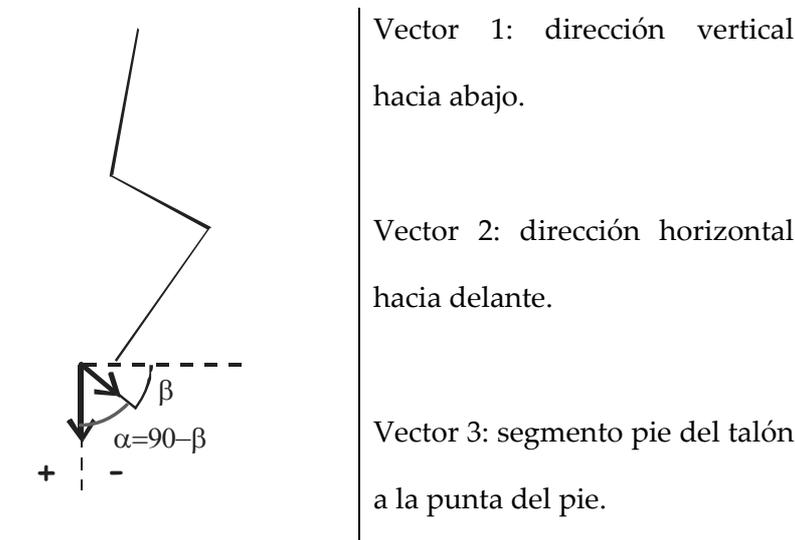
Ángulo de posición de la pierna



**Figura 29.** Ángulo de posición de la pierna.

El ángulo representa la orientación respecto a la dirección vertical hacia abajo.

## Ángulo de posición del pie



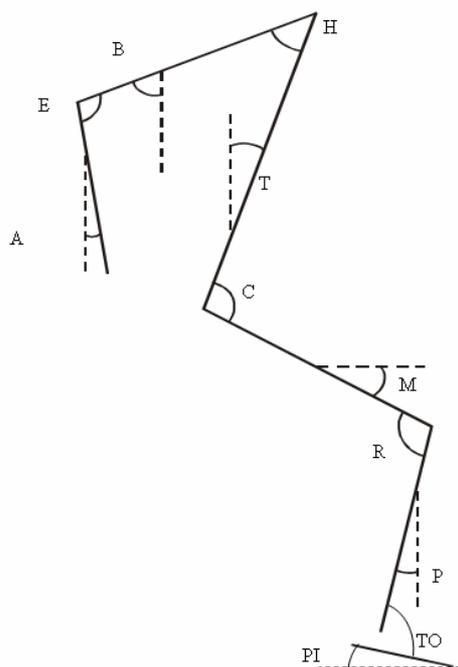
**Figura 30.** Ángulo de posición del pie.

El ángulo representa la orientación respecto a la dirección vertical hacia abajo.

Respecto al signo de los ángulos, en los casos en los que ha sido necesario, se indica el signo positivo y negativo.

Cuando se calcula un ángulo respecto a la horizontal o la vertical, estas direcciones se representan con un vector unidad que apunte a la dirección deseada. Por ejemplo, para la dirección horizontal hacia delante se utiliza el vector  $(1, 0)$ , mientras que para la dirección vertical hacia arriba se utiliza el vector  $(0, 1)$  y cuando es hacia abajo el vector  $(0, -1)$ .

En la Figura 31 se representa un gráfico resumen de todos los ángulos descritos indicando los segmentos con los que se calculan.



**Figura 31.** Definición de ángulos y segmentos (A = antebrazo; E = codo; B = brazo; H = hombro; T = tronco; C = cadera; M = muslo; R = rodilla; P = pierna; TO = tobillo; y PI = pie).

Para la valoración de la velocidad máxima instantánea se utilizó un radar (StalkerPro, Plano, TX). Éste se colocó a los 20 m desde el inicio de la carrera, en la

calle contigua a la del test, debido a que la máxima velocidad se alcanza a partir del metro 30-40 dependiendo del nivel del atleta (102).

#### 4.4.1.2. *Variables cinéticas*

La fuerza máxima isotónica del tren inferior se controló usando una repetición concéntrica máxima (1-RM) en media sentadilla (217). Todos los test se realizaron en la máquina de sentadilla. La barra estaba fijada por los dos extremos a la máquina y se desplazaba en el eje vertical de forma lineal. El calentamiento consistió en una serie de cinco repeticiones con cargas del 40-60% del máximo percibido. La ejecución se realizó a partir de una posición flexionada del sujeto con una angulación de 90° de rodilla. En el momento en que el sujeto estaba preparado, realizó una extensión concéntrica a máxima velocidad hasta conseguir una extensión completa del tren inferior de 180°. El tronco permaneció lo más erecto posible. Se utilizó un cinturón de seguridad. Cada sujeto realizó de cuatro a cinco repeticiones hasta que consiguió desplazar la máxima carga durante una repetición. La última extensión realizada correctamente con la máxima carga posible fue seleccionada como la 1-RM. La recuperación entre las series fue de 2 min. El sujeto tuvo que conseguir su 1-RM en cinco repeticiones como máximo (335).

Se midió la producción de potencia mecánica con máquina con el mismo protocolo que para la fuerza máxima con media sentadilla, utilizando cargas

relativas del 30%, 45%, 60%, 70% y 80% de 1-RM (256). Los sujetos debían mover las cargas tan rápido como fuera posible en la fase concéntrica, y tardar 3 s en la fase excéntrica, en tres repeticiones. Durante el ejercicio, el desplazamiento de la barra, velocidad media/pico y potencia media/pico fueron registradas con el encóder rotatorio colocado en el extremo de la barra. El encóder registra datos a una frecuencia de 500 Hz. El software que se utilizó fue el recomendado por el fabricante (Globus Real Power Blue, Codogne, Italia). Se calculó la producción de potencia de cada repetición de la media sentadilla durante el rango completo de movimiento. La potencia pico de la mejor repetición fue la utilizada para el análisis.

Se realizaron test de saltos verticales sobre plataforma de fuerzas extensométrica (IBV Dinascán 600M, Valencia, España). Se realizaron dos repeticiones válidas de cada salto y se utilizó la que mejor rendimiento en altura produjo. El calentamiento consistió en la realización de 5 min de activación vegetativa sobre un ciclo-ergómetro, 5 min de flexibilidad balística de las articulaciones del tren inferior, y 2 SJ y 2 CMJ sub-máximos. Se dejó una recuperación mínima de 2 min para cada deportista entre cada salto (330). Todas las variables de fuerza de los test se tomaron en valores absolutos y relativos al peso corporal (336). Se realizaron los siguientes test de saltos:

- *Squat jump* (SJ): se parte en posición de sentadilla sin contramovimiento (90° de flexión de rodilla). Para una correcta ejecución de este test el sujeto tiene

que permanecer en esta posición durante al menos 4 s, con las manos colocadas en la cintura, para después saltar lo más alto posible (337). Con este test se obtuvieron las siguientes variables: altura máxima del COM y potencia pico desarrollada. La altura máxima del COM se calculó a partir de la velocidad inicial de despegue utilizando la formula siguiente:  $h = v^2 \cdot (2g)^{-1}$ . La velocidad inicial se seleccionó justo en el primer instante en el que la fuerza vertical era menor de 10 N. La potencia pico se obtuvo del mayor valor encontrado al multiplicar la fuerza vertical por la velocidad vertical.

- *Salto con contramovimiento (CMJ)*: se parte desde una posición de pie y erecta, en la que se permite contramovimiento. El atleta debe buscar alcanzar la máxima altura del COM, partiendo de la posición descrita. Desde ésta debía flexionar las rodillas hasta una angulación de 90° (a la máxima velocidad posible) y a partir de esa posición, y sin retardo, ejecutar un salto similar al SJ (337). Se debe tener en cuenta que se tiene que realizar a la máxima velocidad posible con el fin de aprovechar la activación del ciclo de estiramiento acortamiento (CEA) (338). Con este test se obtuvieron las siguientes variables: altura máxima del COM y potencia pico desarrollada. Estas variables se calcularon de la misma forma que en el SJ.

- *Squat jump modificado*: es similar al SJ, con la diferencia de que el ángulo de la rodilla fue de 120° (281). La realización de este test adaptado se debe a que en esta posición es en la que se consigue la máxima fuerza para los extensores de la

rodilla en población no deportista (339). Esta posición es muy similar a la angulación de la rodilla durante la fase de apoyo en el sprint (340). Con este test se obtuvieron las siguientes variables: altura máxima del COM, potencia pico desarrollada y la fuerza máxima aplicada a los 100 ms. La altura máxima del COM y la potencia pico se calcularon de la misma forma que en el SJ. La fuerza máxima aplicada se calculó a partir de la fuerza máxima vertical registrada en los 100 primeros ms desde el comienzo del movimiento. El inicio del movimiento se determinó cuando se superaban 2 desviaciones estándar del registro inicial del peso. Se usó este tiempo ya que se aproxima a los tiempos de contacto de los velocistas durante la fase de máxima velocidad (22, 59, 149).

- *Drop jump* (DJ): Se realizó un salto vertical con una caída previa de 50 cm. Los deportistas debían alcanzar la máxima altura del COM con un mínimo retraso sobre la plataforma de fuerzas, teniendo en cuenta que el tiempo de contacto tenía que ser mínimo (338). Las variables seleccionadas en este test fueron la altura máxima del COM tras realizar el salto y el índice del DJ ( $\text{Altura} \cdot \text{Tiempo de contacto}^{-1}$ ). La altura del salto se calculó a partir el tiempo de vuelo empleado. Se determinó un umbral de  $\pm 10$  N a partir del cual se estableció el despegue y el aterrizaje. El índice del DJ se obtuvo de la división de la altura del salto entre el tiempo de contacto.

Con el fin de validar o descartar los saltos ejecutados se tuvieron en cuenta los siguientes criterios (195, 338):

- Las manos deben permanecer en las caderas a lo largo de la totalidad del salto.

- La posición del tronco debe mantenerse erguida durante el salto.

- Se observó que el sujeto adoptara en la caída la misma posición que en el despegue.

- En el SJ fueron invalidados los saltos en los que se apreció un 5% de contramovimiento del pico máximo de fuerza conseguido (341).

- Se invalidaron los intentos en los que el sujeto caía desequilibrado.

- Se invalidaron, además, los saltos en los que el sujeto o el investigador consideró que el intento realizado no había sido máximo o no caía dentro de la plataforma.

El rendimiento del ciclo de estiramiento acortamiento (*índice de elasticidad*) se midió comparando el incremento en el rendimiento de un CMJ/DJ con respecto a un SJ (Ecuación 1) (272, 279, 342).

**Ecuación 1.** Índice de elasticidad

$$I.E. = [(CMJ - SJ) \cdot SJ^{-1}] \cdot 100$$

Por último, se utilizó un dinamómetro isocinético (Biodex 6000, New York, NY) para la medición de las variables isocinéticas. Para la realización del test se seleccionó la articulación de la cadera como eje de rotación del segmento muslo debido a que los grupos musculares que se insertan a su alrededor son determinantes para el máximo rendimiento en el sprint (43). El rango articular estuvo determinado por la comodidad de cada sujeto, siempre teniendo en cuenta que se llegara a rangos próximos a los de la técnica específica de carrera (55). Se realizó un calentamiento específico que consistió en 5 min de activación vegetativa sobre un ciclo-ergómetro y 5 min de estiramientos balísticos del tren inferior. Previo a la realización de cada test, los sujetos realizaron tantas repeticiones, a la velocidad seleccionada, como creyeron conveniente. Todos los sujetos realizaron el test en la extremidad inferior derecha. Gilliam et al. (343) encontró altas correlaciones ( $r = 0.82$ ) y pequeñas diferencias medias (2-3%) para movimientos de flexión y extensión en atletas masculinos, entre la extremidad derecha e izquierda. Por lo tanto, sólo se realizó sobre la pierna derecha. Se realizaron de tres a cinco repeticiones. Se dejaron 2 min de recuperación entre cada velocidad. Las velocidades angulares utilizadas fueron de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1}$  y  $480^\circ \cdot s^{-1}$  (315). Aunque se cree que los test isocinéticos a altas velocidades son los que imitan de mejor forma las condiciones de los sprints (55). El dinamómetro se calibró al comienzo de cada test siguiendo las recomendaciones del fabricante. Se realizó un test de corrección de la gravedad en

cada sujeto para evitar los efectos de la misma sobre los resultados obtenidos (344). Para el análisis, se seleccionó la repetición en la que se conseguía el torque pico en la fase concéntrica de los extensores y flexores de cadera (55, 315, 345). Se normalizaron los resultados, expresándolos relativos al peso corporal ( $N \cdot m \cdot kgf^{-1}$ ). Se calculó la potencia cuando la velocidad angular era estable.

#### 4.4.1.3. Variables antropométricas

El objetivo del estudio antropométrico fue el de extraer variables de control de la hipertrofia-atrofia, control de peso de masa magra, grasa e índice de masa corporal (IMC). Para ello los sujetos fueron objeto de diferentes medidas antropométricas: peso y talla; pliegues cutáneos del tríceps, subescapular, ileocrestal, supra-espinal, abdominal, del muslo y de la pierna; diámetros biestiloideo, biepicondíleo (húmero), bicondíleo (fémur) y los perímetros del brazo contraído, muslo y pierna. Para la obtención de estas medidas antropométricas se utilizó la metodología propuesta por el Grupo Español de Antropometría (GREC) (346). Con respecto a la composición corporal, se utilizaron los cálculos propuestos por De Rose y Guimaraes (347), siguiendo su modelo tetracompartimental (masa grasa = MG; masa ósea = MO; masa muscular = MM; y masa residual = MR). También se empleó la fórmula propuesta por Faulkner (348) en la determinación de la MG. Además, se determinó el somatotipo de los atletas, atendiendo al modelo propuesto por Carter (349).

## 4.4.1.4. Variables mecánico músculo-articulares

La rigidez de la extremidad de apoyo y la rigidez vertical se valoraron por medio de una ecuación basada en la curva fuerza-tiempo, y modeladas a través de los siguientes parámetros mecánicos: tiempo de vuelo y de contacto, longitud de la pierna, masa corporal y velocidad de carrera (318) (Figura 32 y Figura 33). El tiempo de vuelo, el tiempo de contacto y la velocidad de carrera se obtuvieron del análisis fotogramétrico.

$$a) \quad \hat{k}_{\text{vert}} = \hat{F}_{\text{max}} \cdot \Delta \hat{y}_c^{-1}$$

$$b) \quad \hat{F}_{\text{max}} = mg \frac{\pi}{2} \left( \frac{t_f}{t_c} + 1 \right)$$

**Figura 32.** Modelación matemática de la rigidez vertical del atleta (a) y la fuerza pico durante la fase de apoyo (b) para la carrera de velocidad propuesta por Morin et al. (318).  $K_{\text{vert}}$  = rigidez vertical modelada;  $F_{\text{max}}$  = fuerza máxima modelada;  $\Delta y_c$  = desplazamiento pico vertical modelado del COM durante el contacto;  $m$  = peso corporal;  $g$  = aceleración de la gravedad;  $t_f$  = tiempo de vuelo;  $t_c$  = tiempo de contacto.

$$\text{a) } \Delta \hat{y}_c = -\frac{\hat{F}_{\max}}{m} \frac{t_c^2}{\pi^2} + g \frac{t_c^2}{8}$$

$$\text{b) } \hat{K}_{\text{leg}} = \hat{F}_{\max} \cdot \Delta L^{-1}$$

$$\text{c) } \Delta \hat{L} = L - \sqrt{L^2 - \left(\frac{vt_c}{2}\right)^2} + \Delta \hat{y}_c$$

**Figura 33.** Modelación matemática del desplazamiento total del COM en el instante  $T_{\text{mid}}$  (a), de la rigidez articular de la extremidad inferior (b), y del desplazamiento pico de la extremidad inferior durante la fase de apoyo para la carrera propuesta por Morin et al. (318).  $\Delta y_c$  = desplazamiento pico vertical modelado del COM durante el contacto;  $F_{\max}$  = fuerza máxima modelada;  $m$  = peso corporal;  $t_c$  = tiempo de contacto;  $g$  = aceleración de la gravedad;  $K_{\text{leg}}$  = rigidez de la extremidad inferior;  $\Delta L$  = desplazamiento pico de la extremidad inferior modelado durante el contacto;  $L$  = longitud de la extremidad inferior de los atletas;  $v$  = velocidad horizontal constante del COM.

#### 4.4.2. Variables contaminantes y de control

##### 4.4.2.1. *Velocidad del viento*

La velocidad del viento se controló por medio de un anemómetro digital (Standar, Cantabrian, Cantabrian, UK) colocado a 25 m desde la salida de la carrera. El anemómetro se activaba por medio de un operador seleccionado para tal fin. El anemómetro registraba el viento medio durante 5 s desde que el operador lo activaba al comienzo de la carrera. Se repitieron las carreras con un viento superior a  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Indicar que tan solo se tuvo que repetir una carrera por viento superior a  $2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . El resto de carreras se realizaron con vientos cercanos a  $0 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

##### 4.4.2.2. *Superficie de la pista*

Antes de realizar los test se comprobó que la pista tenía las mismas características que las pistas usadas para el entrenamiento.

##### 4.4.2.3. *Actividad deportiva extra y asistencia*

La actividad deportiva extra debía ser indicada por los atletas en el cuaderno de entrenamiento facilitado por los investigadores. En éste se dejó una casilla correspondiente para cada día. No se desechó a ningún deportista por este

motivo, ya que ninguno realizó alguna actividad que pudiera influir en el resultado final del entrenamiento planteado.

En relación a la asistencia, se controló por medio del diario de entrenamiento y por medio de los entrenadores colaboradores. Se excluyeron a los atletas que faltaron al entrenamiento más del 20%, independientemente de la causa que lo produjera.

#### 4.4.2.4. *Estatura y masa corporal*

Para la medición de la estatura, el sujeto permaneció de pie, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro. A partir de esta posición, el sujeto realizó una inspiración profunda en el momento de la medida para compensar el acortamiento de los discos intervertebrales, manteniendo el sujeto en el *plano de Frankfort* (línea imaginaria que pasa por el borde inferior de la orbita ocular y por el punto más alto del conducto auditivo externo paralela al suelo y perpendicular al eje longitudinal del cuerpo). Para la masa corporal el sujeto se colocó en el centro de la báscula, en posición estándar erecta y de espaldas al registro de la medida, sin que el cuerpo estuviera en contacto con nada a su alrededor.

#### 4.4.2.5. *Variables fisiológicas*

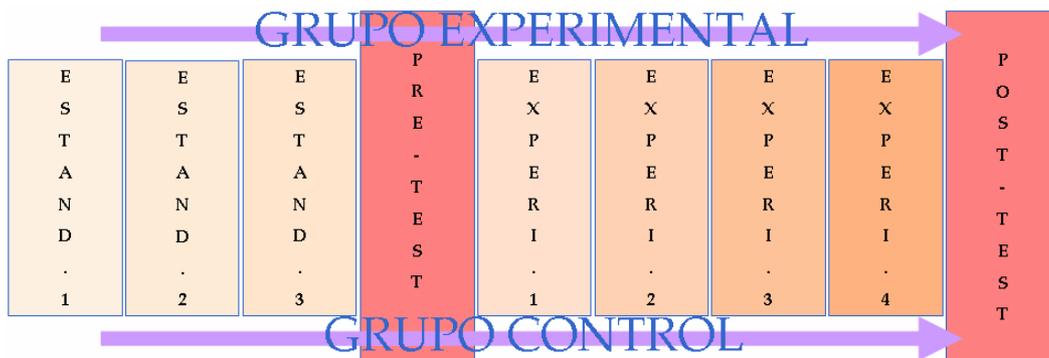
La frecuencia cardiaca de reposo se controló tres veces por semana, los mismos días, y a la misma hora. Se controló de forma manual por los deportistas durante un tiempo de 1 min. Se incluyó una casilla en el diario de entrenamiento para que los deportistas la midieran los días señalados.

#### 4.4.2.6. *Variables psicológicas*

Se utilizó el perfil de estados de ánimo en su forma abreviada (POMS). Este cuestionario se incluyó en el diario de entrenamiento al finalizar cada semana, ya que se recomienda que se controle el estado de ánimo una vez por semana, el mismo día y a la misma hora del día. En concreto, se incluyó el domingo, debido a que era el día de descanso de los atletas y podían, de esta forma, tener el tiempo necesario para rellenarlo de forma adecuada. Para calcular el perfil se utilizó el método propuesto por McNair et al. (350).

#### 4.4.3. **Estandarización del entrenamiento**

Una vez se han explicado los procedimientos usados, se van a describir las características del entrenamiento desarrollado. El entrenamiento se dividió en dos sub-fases: una fase de estandarización previa y una fase entrenamiento principal.



**Figura 34.** Organización temporal del estudio. Estand. = semanas de entrenamiento de estandarización; Pre-test = semana de test iniciales; Experi. = semanas de entrenamiento principal; Post-test = semana de test finales. Total = 9 semanas de estudio.

Tanto para los sujetos experimentales como para los sujetos de control, se realizaron tres semanas previas de estandarización. Durante este periodo se llevó a cabo un entrenamiento semanal de cinco sesiones de una duración de dos horas aproximadamente.

Dos de las sesiones fueron específicas de velocidad (series de velocidad, multisaltos y técnica de carrera), otras dos sesiones fueron específicas de fuerza en sala de musculación con ejercicios para desarrollar la fuerza máxima y la potencia. Por último, se realizó una sesión semanal regenerativa en la que se trabajó la flexibilidad y la resistencia aeróbica (Anexo 1 y 2).

El objetivo de este entrenamiento fue el de asegurar que los sujetos habían hecho un entrenamiento previo similar y que habían alcanzado un nivel de fuerza

máxima adecuado para el entrenamiento específico posterior. A continuación se describen con más detalle los entrenamientos desarrollados.

#### 4.4.3.1. *Entrenamiento de musculación*

Los deportistas realizaron el mismo entrenamiento de musculación dos veces por semana. El ejercicio principal fue extensión de las extremidades inferiores en prensa inclinada. Otros ejercicios suplementarios fueron extensiones de cadera y elevación de tobillos. Los ejercicios del tren superior y tronco fueron programados por los entrenadores libremente. La intensidad progresó desde una carga con la que el deportista podía realizar doce repeticiones, en la primera semana, hasta cargas con las que el sujeto podía realizar diez repeticiones en la tercera semana. De esta forma, todos los sujetos trabajaron fuerza máxima general antes del entrenamiento específico. La recuperación entre series fue pasiva de 3 min. A lo largo de este periodo se realizaron tres series de cada ejercicio. La velocidad de ejecución fue de 3 s en la fase excéntrica y máxima en la fase concéntrica.

#### 4.4.3.2. *Entrenamiento de velocidad y multisaltos*

Los deportistas realizaron el mismo entrenamiento de velocidad y multisaltos verticales dos veces por semana. Después del calentamiento específico, se realizó técnica de carrera (Anexo 1 y 2). En la primera semana, el

primer día de la semana se realizaron series de 4 x 30 m a máxima intensidad y 3 x 3 x CMJ's con 1 min de recuperación entre las series de CMJ y 2 min en las series de aceleración. El segundo día de velocidad de la semana realizaron arrastres de trineo 3 x 30 m lanzados (20 m), con una carga que correspondía a una pérdida de velocidad del 7.5% de la máxima. Se utilizó esta carga debido a que es la que se aconseja para desarrollar el rendimiento en la fase de máxima velocidad (294, 351), y 3 x 3 x CMJ's con 1 min de recuperación entre las series de CMJ y 2 min entre las series de arrastres. En la última semana de la fase de estandarización, el primer día de velocidad, se realizaron 6 x 30 m a máxima intensidad, y 5 x 3 x CMJ's con 2 min de recuperación entre las series de CMJ, y 3 min en los arrastres. El siguiente día de velocidad realizaron arrastres de trineos 5 x 30 m lanzados (20 m) y 5 x 3 CMJ's.

#### 4.4.3.3. *Evaluación inicial y final*

Se llevó a cabo al finalizar la fase de estandarización y después de la fase experimental. Se empleó una semana para la realización de los test. Todos los test se realizaron en estado de reposo, con un descanso de 48 h entre cada sesión de medición, con el objetivo de que los deportistas llegaran descansados para la realización de los mismos. Se dejaron tres días de descanso desde la última sesión de entrenamiento y la sesión de test. Los test se realizaron a la misma hora del día para cada sujeto, ya que los niveles hormonales pueden influir en el rendimiento de la fuerza (352, 353) y éstos varían a lo largo del día (353).

Debido a que se realizó una gran cantidad de test y sólo se disponía de una semana para la realización de los mismos, estos se agruparon en tres bloques. El tiempo de recuperación entre cada test diferente fue siempre superior a 1 hora:

*Bloque 1:* test de saltos + test de velocidad en pista.

*Bloque 2:* test de fuerza isocinética + test de fuerza isotónica.

*Bloque 3:* test de velocidad en pista.

#### 4.4.4. Periodo de entrenamiento

El periodo de entrenamiento diferente para cada grupo duró cuatro semanas. A diferencia de la fase de estandarización, en la que las sesiones eran iguales para ambos grupos, las sesiones de entrenamiento de velocidad en la fase experimental se distribuyeron de la siguiente forma:

##### Calentamiento

Fue siempre el mismo para todos los sujetos (Anexo 1 y 2). Se diferenció el calentamiento para las sesiones de entrenamiento de musculación del calentamiento de las sesiones de velocidad. El calentamiento de las sesiones de

musculación consistió en: 5 min de activación vegetativa (bicicleta o carrera continua) + 5 min de movilidad articular + 1 x 15 repeticiones con una carga que se podía desplazar 20 veces con cada grupo muscular a trabajar + 5 min de estiramientos activos de los grupos musculares a trabajar + 1 x 12 repeticiones con una carga que pudieran desplazar 15 veces con cada grupo muscular + 2 min de recuperación + 1 x las repeticiones que correspondieran en la parte principal, con el fin de ajustar la carga de la parte principal + 3 min de recuperación antes de comenzar la parte principal. El calentamiento de las sesiones de velocidad consistió básicamente en: 8 min de carrera continua (activación vegetativa) + flexibilidad activa de los grupos musculares del tren inferior/superior + movilidad articular estática + movilidad articular dinámica + 2 x progresivos de 30 m + 2 x 50 m cambios de ritmo + 2 x progresivos de 50 m + técnica de carrera.

#### Entrenamiento de musculación

Durante la fase experimental, todos los deportistas, incluidos los del grupo control, realizaron el mismo entrenamiento de musculación dos veces por semana. El ejercicio principal fue la media sentadilla (con pesos libres). Otros ejercicios suplementarios fueron extensiones de cadera, elevación de tobillos y cargada. Los ejercicios del tren superior y tronco fueron programados por los entrenadores libremente. La intensidad progresó desde una carga con la que el deportista podía realizar nueve repeticiones, en la primera semana, hasta cargas con las que el sujeto podía realizar seis repeticiones en la última semana. Las

recuperaciones entre series fueron de 3 min. A lo largo de este periodo se realizaron cuatro series. La velocidad de ejecución fue de 3 s en la fase excéntrica y máxima en la fase concéntrica.

#### Entrenamiento de velocidad y multisaltos

Durante la fase experimental, los deportistas del grupo control (GC), realizaron dos sesiones por semana de velocidad lanzada y multisaltos horizontales/velocidad. En la primera sesión de cada semana, primero se realizaron las series de velocidad y después los multisaltos horizontales. En la segunda sesión, primero se realizaron series de velocidad, y después las series de velocidad lanzada. Durante la primera semana, en la primera sesión se realizaron 3 x 30 m lanzados (20 m), después se realizaron impulsiones horizontales 3 x 30 m. En la segunda sesión, de la primera semana, se realizaron series de 3 x 50 m a máxima intensidad, y después 3 x 30 m lanzados (20 m). La recuperación fue de 2 min tanto para las series de velocidad como para las impulsiones. En la última semana, en la primera sesión se realizaron 6 x 30 m lanzados (20 m), después se realizaron impulsiones horizontales 6 x 30 m. En la segunda sesión de la primera semana, se realizaron series de 4 x 50 m a máxima intensidad, y después 6 x 30 m lanzados (20 m). La recuperación fue de 3 min tanto para las series lanzadas como para las impulsiones y series de velocidad. Entre los ejercicios la recuperación fue de 6 min. El *grupo experimental* (GE) realizó el mismo entrenamiento pero las

series de velocidad lanzadas se realizaron con un trineo que producía una pérdida de la máxima velocidad del 7.5% (294, 351).

#### Vuelta a la calma

Fue siempre la misma para todos los sujetos (Anexo 1 y 2). Básicamente constó de 5 min de carrera continua y estiramientos pasivos.

#### 4.5. ANÁLISIS DE LOS DATOS

El registro y almacenamiento de los datos se realizó con la hoja de cálculo Excel 2003 (Microsoft corp., Redmond, WA). El análisis estadístico de los datos se realizó con el paquete informático SPSS 15.0 (SPSS 15.0, Chicago, IL) en el entorno de Windows.

Se realizó un análisis descriptivo con el fin de detallar y analizar las características de la muestra participante en el estudio. Para establecer correlaciones entre variables, se utilizó el coeficiente de correlación lineal de Pearson, para variables continuas, y el Coeficiente de Correlación de Rho de Spearman para variables ordinales.

Para el análisis inferencial, siempre se realizó el test de Kolmogorov-Smirnov con el fin observar la normalidad de la distribución muestral y el análisis

de Rachas, para observar la independencia de las observaciones. Por último, y sólo en la prueba  $T$  para muestras independientes, se realizó el test de Levene, con el fin de controlar la igualdad de las varianzas.

Para poder establecer diferencias entre el pre-test y el post-test se utilizó la prueba  $T$  para muestras relacionadas, con el propósito de conocer si la variable independiente influye sobre las variables dependientes. Por otro lado, con el fin de conocer si se producían diferencias significativas entre los grupos se llevó a cabo una prueba  $T$  para muestras independientes. Para comparar y relacionar variables categóricas, se utilizó la prueba estadística de Chi Cuadrado de Pearson.

Con el fin de controlar si existían diferencias en las variables estudiadas dependiendo del género, se realizó un análisis estadístico paralelo de todas las variables en función del mismo. Debido a que no se encontraron diferencias en función del género, tanto en los estadísticamente significativos como en los que no lo fueron, los resultados se han presentado sin una diferenciación por género.



---

## 5. RESULTADOS



## RESULTADOS

En el siguiente capítulo se presentan los resultados del estudio. Éstos se han dividido en descriptivos (media  $\pm$  desviación estándar) e inferenciales (comparación de medias). Se han diferenciado los distintos sub-apartados: variables cinemáticas, cinéticas y antropométricas. Cada tipo de variable ha sido descrita tanto para el grupo de entrenamiento experimental como para el grupo control, y siempre en la misma tabla.

Ninguna de las variables estudiadas posee una distribución **NO** normal y **TODAS** las observaciones son independientes. No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas para la variable fisiológica (frecuencia cardiaca basal) y tampoco psicológica (POMS). Esto parece indicar que no se ha producido un posible sobreentrenamiento en ninguno de los sujetos que han llevado a cabo el estudio. Se produjeron tres bajas por asistencia, dos por lesión y tres por falta de motivación.

### 5.1. VARIABLES CINEMÁTICAS

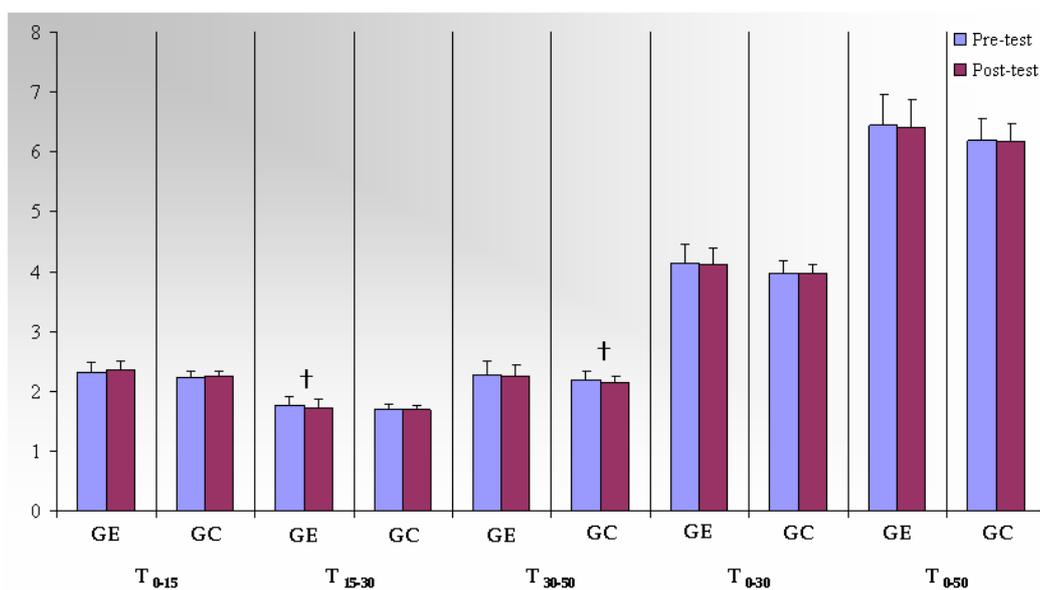
En la Tabla 25 se pueden observar las variables cinemáticas del tiempo en 15 m, 15-30 m, 30-50 m, 0-30 m y en 0-50 m para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 25.** Tiempos en las diferentes fases del sprint.

|              |      | $T_{0-15^*}$<br>(s) | $T_{15-30^*}$<br>(s) | $T_{30-50^*}$<br>(s) | $T_{0-30^*}$<br>(s) | $T_{0-50^*}$<br>(s) |
|--------------|------|---------------------|----------------------|----------------------|---------------------|---------------------|
| Experimental | Pre  | 2.32 ± 0.17         | 1.78 ± 0.15          | 2.28 ± 0.22          | 4.15 ± 0.30         | 6.45 ± 0.52         |
|              | Post | 2.36 ± 0.16         | 1.74 ± 0.14†         | 2.25 ± 0.19          | 4.11 ± 0.28         | 6.40 ± 0.48         |
|              | Δ %  | 1.5 ± 3.1           | -2.4 ± 2.9           | -1.4 ± 3.2           | -1.0 ± 2.0          | -0.7 ± 2.1          |
| Control      | Pre  | 2.24 ± 0.11         | 1.70 ± 0.10          | 2.20 ± 0.14          | 3.97 ± 0.21         | 6.18 ± 0.35         |
|              | Post | 2.26 ± 0.09         | 1.68 ± 0.09          | 2.16 ± 0.11†         | 3.96 ± 0.16         | 6.17 ± 0.29         |
|              | Δ %  | 1.2 ± 3.3           | -1.3 ± 3.1           | -2.0 ± 2.6           | -0.2 ± 3.2          | -0.3 ± 2.4          |

$T$  = tiempo;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.\* = los tiempos se tomaron a partir del primer metro de carrera, por lo tanto, el tramo 0-15 m corresponde al tramo 1-16 m, y así sucesivamente.

Se han encontrado disminuciones estadísticamente significativas (2.4 ± 2.9%) entre el pre y post-test para el tiempo en 15-30 m del grupo experimental. Mientras que para el grupo control se han observado descensos significativos (2.0 ± 2.6%) para el tiempo en 30-50 m (Figura 35).



**Figura 35.** Tiempos (s) en las diferentes fases del sprint en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). T = tiempo; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

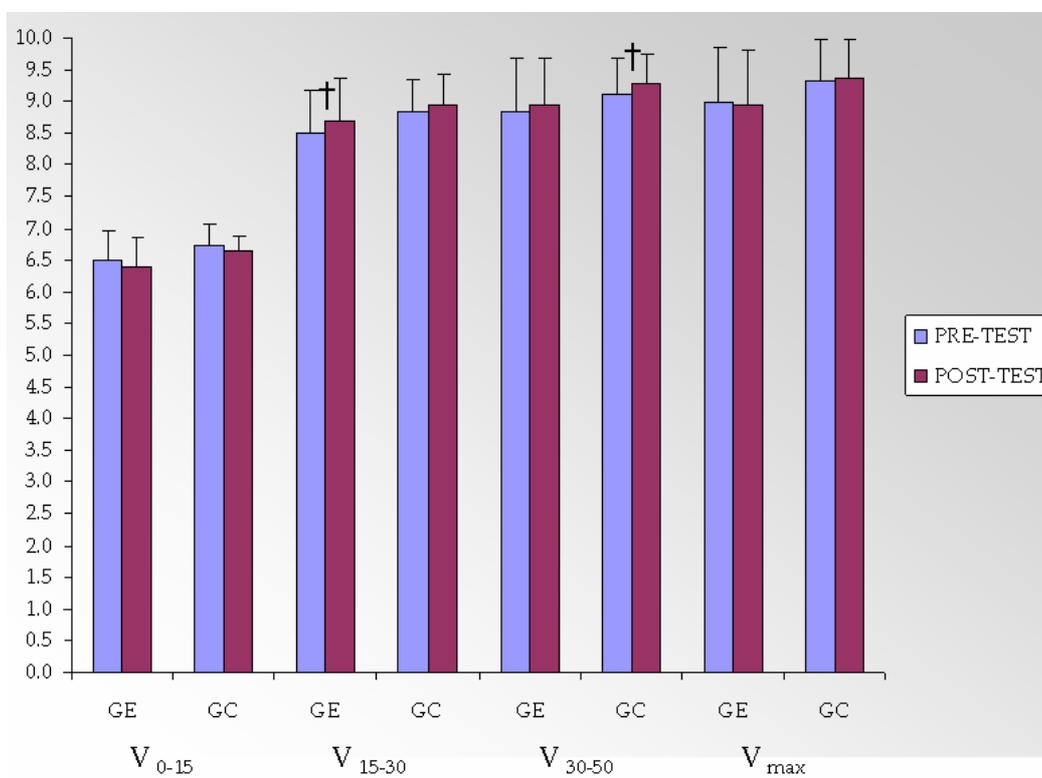
En la Tabla 26 se pueden observar las variables cinemáticas de la velocidad media en 15 m, 15-30 m, 30-50 m, 0-30 m y en 0-50 m, y la velocidad horizontal máxima instantánea para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 26.** Velocidad instantánea máxima de carrera y velocidades medias en las diferentes fases del sprint.

|              |      | $V_{0-15^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $V_{15-30^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $V_{30-50^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $V_{0-30^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $V_{0-50^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $V_{\max}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------------|
| Experimental | Pre  | 6.49 ± 0.47                          | 8.49 ± 0.67                           | 8.83 ± 0.84                           | 7.80 ± 0.60                          | 7.27 ± 0.50                          | 8.97 ± 0.89                        |
|              | Post | 6.39 ± 0.44                          | 8.69 ± 0.69†                          | 8.94 ± 0.74                           | 7.85 ± 0.58                          | 7.34 ± 0.49                          | 8.96 ± 0.85                        |
|              | Δ %  | -1.6 ± 3.3                           | 2.3 ± 2.8                             | 1.3 ± 3.1                             | 0.6 ± 2.1                            | 0.9 ± 1.9                            | -0.1 ± 3.1                         |
| Control      | Pre  | 6.72 ± 0.35                          | 8.84 ± 0.50                           | 9.12 ± 0.56                           | 8.11 ± 0.46                          | 7.58 ± 0.42                          | 9.33 ± 0.63                        |
|              | Post | 6.64 ± 0.25                          | 8.95 ± 0.49                           | 9.29 ± 0.46†                          | 8.12 ± 0.38                          | 7.58 ± 0.30                          | 9.38 ± 0.58                        |
|              | Δ %  | -1.32 ± 3.44                         | 1.2 ± 3.0                             | 1.9 ± 2.5                             | 0.2 ± 2.4                            | 0.1 ± 3.4                            | 0.6 ± 2.6                          |

$V$  = velocidad media;  $V_{\max}$  = velocidad máxima;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.\* = las velocidades se tomaron a partir del primer metro de carrera, por lo tanto, la velocidad del tramo 0-15 m corresponde a la del tramo 1-16 m, y así sucesivamente.

Se han encontrado aumentos estadísticamente significativos ( $2.3 \pm 2.8\%$ ) entre el pre y post-test para la velocidad en 15-30 m del grupo experimental. Mientras que para el grupo control se han observado aumentos significativos ( $1.9 \pm 2.5\%$ ) para la velocidad en 30-50 m (Figura 36).



**Figura 36.** Velocidad máxima instantánea ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y velocidades medias ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) en las diferentes fases del sprint en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). V = velocidad;  $V_{\text{max}}$  = velocidad máxima; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

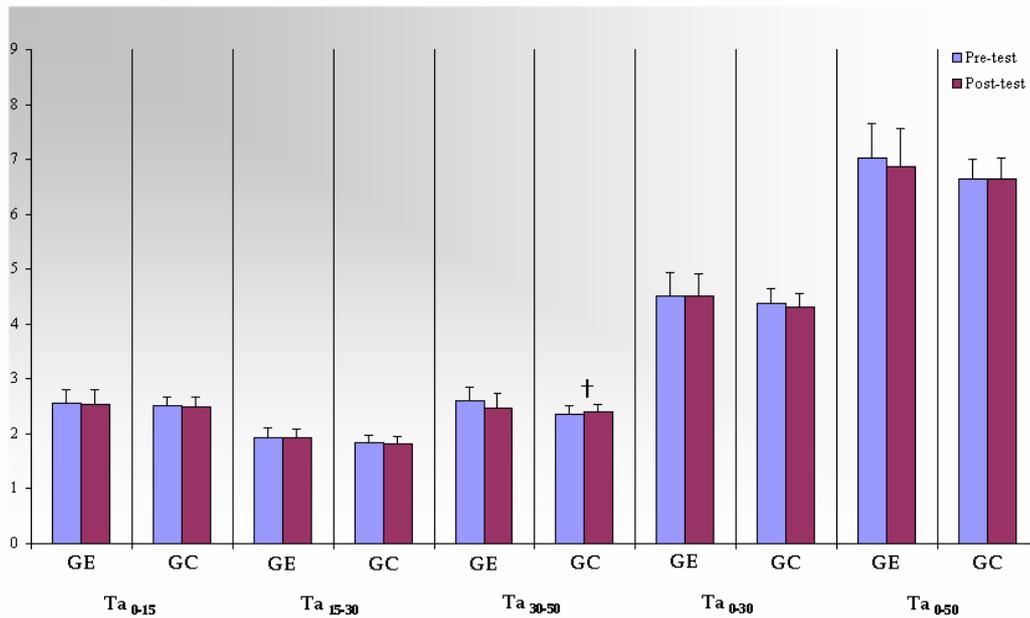
En la Tabla 27 se pueden observar las variables cinemáticas del tiempo arrastrando un trineo de 4.7 kg en 15 m, 15-30 m, 30-50 m, 0-30 m y en 0-50 m para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 27.** Tiempos en las diferentes fases del sprint y velocidad máxima de carrera al arrastrar un trineo de 4.7 kg.

|              |      | $Ta$ 0-15*  | $Ta$ 15-30* | $Ta$ 30-50*  | $Ta$ 0-30*  | $Ta$ 0-50*  |
|--------------|------|-------------|-------------|--------------|-------------|-------------|
|              |      | (s)         | (s)         | (s)          | (s)         | (s)         |
| Experimental | Pre  | 2.56 ± 0.24 | 1.93 ± 0.17 | 2.61 ± 0.25  | 4.51 ± 0.42 | 7.02 ± 0.64 |
|              | Post | 2.54 ± 0.26 | 1.93 ± 0.15 | 2.47 ± 0.28  | 4.51 ± 0.40 | 6.87 ± 0.69 |
|              | Δ %  | -1.3 ± 4.9  | 0.0 ± 4.4   | -6.6 ± 10.6  | -0.2 ± 3.7  | -2.4 ± 4.6  |
| Control      | Pre  | 2.52 ± 0.16 | 1.85 ± 0.13 | 2.35 ± 0.16  | 4.37 ± 0.28 | 6.64 ± 0.37 |
|              | Post | 2.48 ± 0.18 | 1.82 ± 0.13 | 2.40 ± 0.15† | 4.30 ± 0.26 | 6.64 ± 0.37 |
|              | Δ %  | -1.5 ± 3.2  | -1.5 ± 4.4  | 2.2 ± 1.8    | -1.4 ± 2.2  | 0.0 ± 1.4   |

$Ta$  = Tiempo al arrastrar un trineo de 4.7 kg;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.\* = los tiempos se tomaron a partir del primer metro de carrera, por lo tanto, la velocidad del tramo 0-15 m corresponde a la del tramo 1-16 m, y así sucesivamente.

Se han observado aumentos estadísticamente significativos en el tiempo empleado en recorrer el tramo 30-50 m en el grupo control del  $2.2 \pm 1.8\%$  (Figura 37). No se han observado diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los tramos para el grupo experimental.



**Figura 37.** Tiempos (s) en las diferentes fases del sprint al arrastrar un trineo de 4.7 kg en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). Ta = tiempo arrastres; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

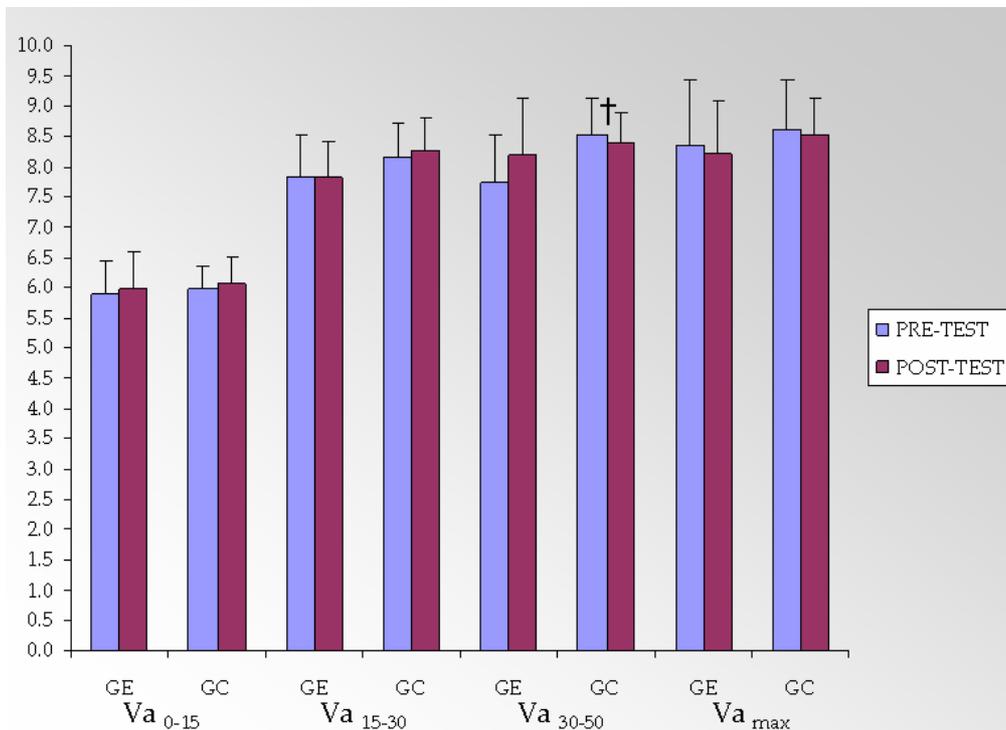
En la Tabla 28 se pueden observar las variables cinemáticas de la velocidad media arrastrando un trineo de 4.7 kg en 15 m, 15-30 m, 30-50 m, 0-30 m y en 0-50 m, y la velocidad máxima instantánea para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 28.** Velocidad instantánea máxima de carrera y velocidades medias en las diferentes fases del sprint al arrastrar un trineo de 4.7 kg.

|              |      | $Va_{0-15^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $Va_{15-30^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $Va_{30-50^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $Va_{0-30^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $Va_{0-50^*}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $Va_{max}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|---------------------------------------|--|--|---------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|
| Experimental | Pre  | 5.90 ± 0.54                           | 7.83 ± 0.70                            | 7.74 ± 0.78                            | 6.70 ± 0.62                           | 7.17 ± 0.64                           | 8.36 ± 1.08                        |
|              | Post | 5.97 ± 0.62                           | 7.81 ± 0.61                            | 8.20 ± 0.93                            | 6.70 ± 0.60                           | 7.34 ± 0.72                           | 8.20 ± 0.90                        |
|              | Δ %  | 1.1 ± 4.9                             | -0.2 ± 4.6                             | 5.2 ± 5.2                              | 0.0 ± 3.7                             | 2.1 ± 4.2                             | -1.8 ± 5.7                         |
| Control      | Pre  | 5.98 ± 0.36                           | 8.14 ± 0.58                            | 8.54 ± 0.57                            | 6.90 ± 0.43                           | 7.55 ± 0.41                           | 8.61 ± 0.83                        |
|              | Post | 6.07 ± 0.45                           | 8.26 ± 0.54                            | 8.38 ± 0.51†                           | 6.99 ± 0.43                           | 7.55 ± 0.42                           | 8.54 ± 0.59                        |
|              | Δ %  | 1.4 ± 3.2                             | 1.4 ± 4.1                              | -1.9 ± 1.9                             | 1.4 ± 2.2                             | -0.0 ± 1.5                            | -0.7 ± 3.5                         |

$Va$  = velocidad media al arrastrar un trineo de 4.7 kg;  $Va_{max}$  = velocidad máxima arrastrando un trineo de 4.7 kg; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.\* = las velocidades se tomaron a partir del primer metro de carrera, por lo tanto, la velocidad del tramo 0-15 m corresponde a la del tramo 1-16 m, y así sucesivamente.

Se han observado disminuciones estadísticamente significativas en la velocidad media desarrollada en el tramo 30-50 m del 1.9% en el grupo control (Figura 38). En el grupo experimental no se han observado diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las velocidades estudiadas al arrastrar un trineo de 4.7%.



**Figura 38.** Velocidad máxima instantánea ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) y velocidades medias ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) en las diferentes fases del sprint en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) al arrastrar un trineo de 4.7 kg.  $V_a$  = velocidad media al arrastrar un trineo de 4.7 kg;  $V_{a_{\max}}$  = velocidad máxima instantánea al arrastrar un trineo de 4.7 kg; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

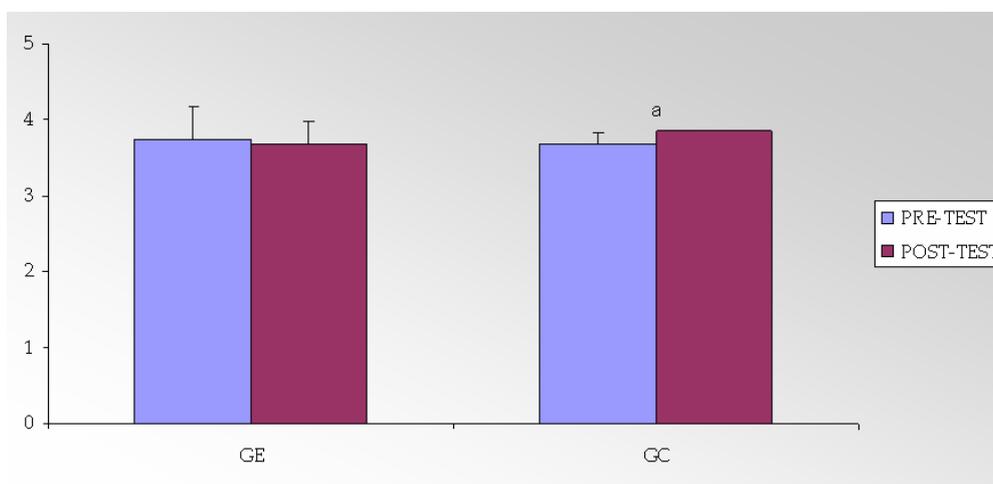
En la Tabla 29 se pueden observar las variables cinemáticas de la amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje y tiempo de contacto entre el apoyo 2° y 3° de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 29.** Amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje, y tiempo de contacto, tomado entre el apoyo 2° y el 3° en la fase de aceleración inicial.

|              |      | Amplitud<br>(cm) | Frecuencia<br>(Hz)       | Dis. Aterrizaje<br>(cm) | T. Contacto<br>(s) |
|--------------|------|------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------|
| Experimental | Pre  | 113.9 ± 8.6      | 3.75 ± 0.43              | 10.4 ± 7.0              | 0.19 ± 0.03        |
|              | Post | 116.4 ± 9.7      | 3.69 ± 0.29              | 13.6 ± 6.6              | 0.21 ± 0.01        |
|              | Δ %  | 2.0 ± 4.3        | -1.7 ± 8.9               | 3.3 ± 78.1              | 7.3 ± 14.7         |
| Control      | Pre  | 110.6 ± 10.3     | 3.68 ± 0.15              | 3.3 ± 7.3               | 0.21 ± 0.18        |
|              | Post | 111.7 ± 10.4     | 3.85 ± 0.00 <sup>a</sup> | 6.4 ± 7.0               | 0.21 ± 0.18        |
|              | Δ %  | -0.2 ± 10.5      | 3.6 ± 4.2                | 49.1 ± 44.0             | 2.3 ± 4.6          |

Dis. = distancia; T = tiempo; Δ = diferencia; <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.070$ ) entre el pre y el pos-test.

Se ha observado una tendencia a la significación estadística ( $p = 0.070$ ) en el aumento de la frecuencia de zancada en el grupo control (Figura 39).



**Figura 39.** Frecuencia de zancada (Hz) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.070$ ).

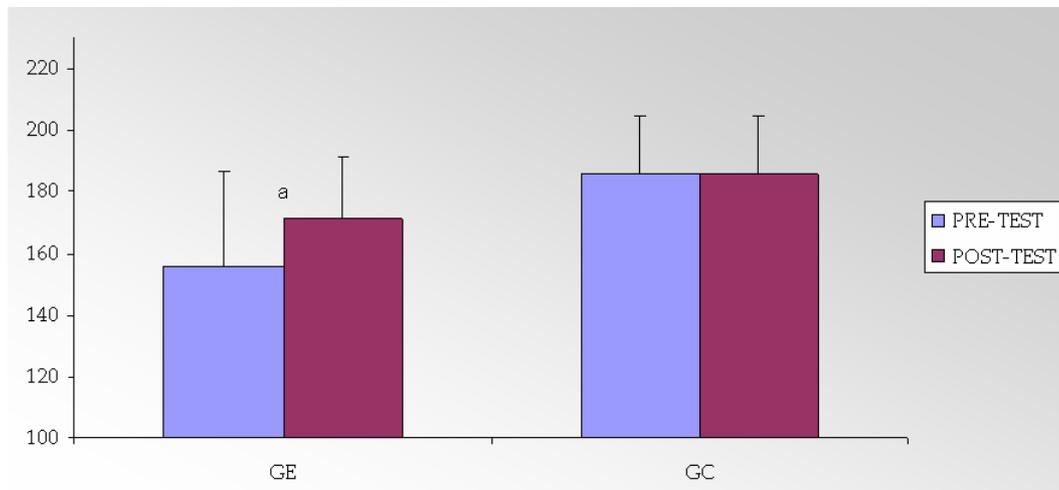
En la Tabla 30 se pueden observar las variables cinemáticas de la amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje y tiempo de contacto entre el apoyo 3° y 4° de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 30.** Amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje, y tiempo de contacto, tomado entre el apoyo 3° y el 4° en la fase de aceleración inicial.

|              |            | Amplitud<br>(cm) | Frecuencia<br>(Hz) | Dis.<br>Aterrizaje<br>(cm) | T. Contacto<br>(s)           |
|--------------|------------|------------------|--------------------|----------------------------|------------------------------|
| Experimental | Pre        | 134.0 $\pm$ 8.3  | 4.05 $\pm$ 0.34    | 2.5 $\pm$ 4.4              | 0.16 $\pm$ 0.03              |
|              | Post       | 131.1 $\pm$ 9.6  | 4.06 $\pm$ 0.41    | 1.8 $\pm$ 15.6             | 0.17 $\pm$ 0.02 <sup>a</sup> |
|              | $\Delta$ % | -2.4 $\pm$ 3.8   | -0.1 $\pm$ 6.8     | 90 $\pm$ 30                | 9.1 $\pm$ 14.7               |
| Control      | Pre        | 135.3 $\pm$ 9.1  | 3.98 $\pm$ 0.49    | -1.1 $\pm$ 11.0            | 0.19 $\pm$ 0.19              |
|              | Post       | 133.4 $\pm$ 9.7  | 3.95 $\pm$ 0.23    | -4.5 $\pm$ 10.0            | 0.19 $\pm$ 0.19              |
|              | $\Delta$ % | -1.7 $\pm$ 8.0   | -2.4 $\pm$ 13.5    | 98.2 $\pm$ 152.9           | 0.6 $\pm$ 11.9               |

Dis. = distancia; T = tiempo;  $\Delta$  = diferencia; <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.088$ ) entre el pre y el pos-test.

Se ha observado una tendencia a la significación ( $p = 0.088$ ) en el aumento de los tiempos de contacto en el grupo experimental.



**Figura 40.** Tiempos de contacto (ms) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.088$ ).

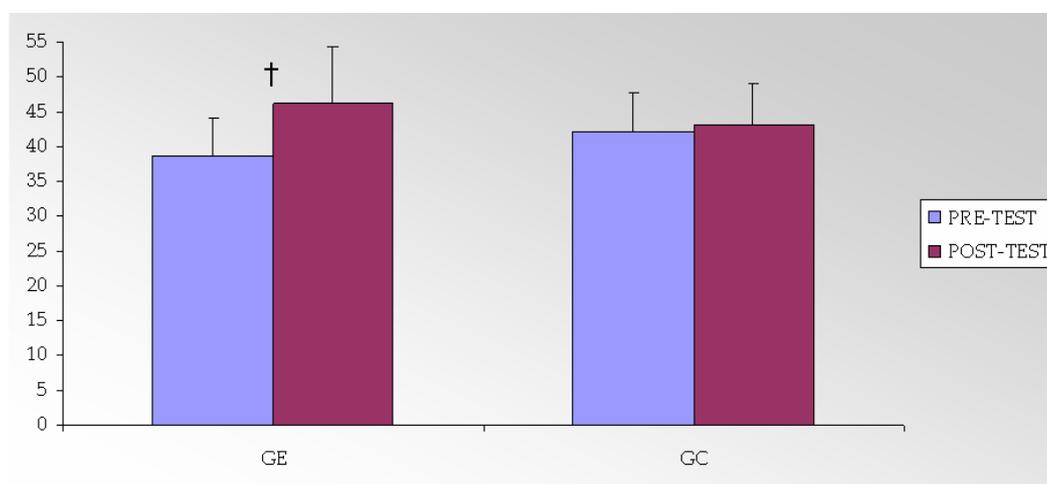
En la Tabla 31 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de tronco, brazo derecho e izquierdo, antebrazo derecho e izquierdo en el apoyo 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 31.** Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |            | Tronco<br>(°)               | BrazoD<br>(°)    | BrazoI<br>(°)     | AntebrazoD<br>(°) | AntebrazoI<br>(°) |
|--------------|------------|-----------------------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Experimental | Pre        | 38.7 $\pm$ 5.4              | -57.7 $\pm$ 18.6 | -43.4 $\pm$ 11.6  | -6.4 $\pm$ 19.3   | 39.2 $\pm$ 14.2   |
|              | Post       | 46.2 $\pm$ 8.1 <sup>†</sup> | -62.8 $\pm$ 28.5 | -48.5 $\pm$ 30.0  | 5.7 $\pm$ 41      | 42.2 $\pm$ 47.3   |
|              | $\Delta$ % | 15.7 $\pm$ 5.2              | -9.1 $\pm$ 53.7  | -77.1 $\pm$ 202.1 | -12.1 $\pm$ 173.5 | 22.2 $\pm$ 156.2  |
| Control      | Pre        | 42.1 $\pm$ 5.6              | -49.7 $\pm$ 24.5 | -55.0 $\pm$ 17.1  | 3.1 $\pm$ 32.1    | 16.2 $\pm$ 30.4   |
|              | Post       | 43.1 $\pm$ 5.9              | -43.1 $\pm$ 10.9 | -63.2 $\pm$ 21.3  | 6.3 $\pm$ 20.3    | 14.9 $\pm$ 35.6   |
|              | $\Delta$ % | 1.7 $\pm$ 13.0              | -18.1 $\pm$ 52.1 | 10.8 $\pm$ 13.9   | -36.8 $\pm$ 59.2  | 57.1 $\pm$ 104.4  |

D = derecho; I = izquierdo;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

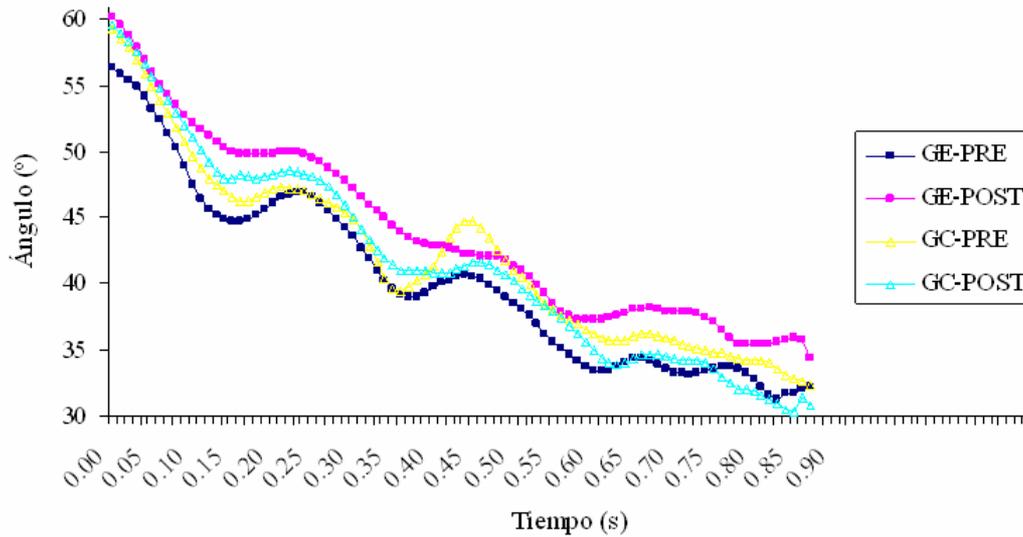
Se ha observado un aumento estadísticamente significativo del ángulo de inclinación del tronco del  $15.7 \pm 5.2\%$  en el grupo experimental en el tercer apoyo de carrera (Figura 41). No se han observado diferencias significativas en el GC.



**Figura 41.** Inclinación de tronco (°) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ).

En la Figura 42 se puede observar la evolución de la inclinación del tronco en los primeros apoyos de la fase de aceleración tanto en el pre como en el post-test del grupo experimental y del grupo control.

### Evolución de la Inclinación del Tronco en los 3 Primeros Apoyos



**Figura 42.** Evolución de la inclinación del tronco en los 3 primeros apoyos tras una salida de tacos en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC).

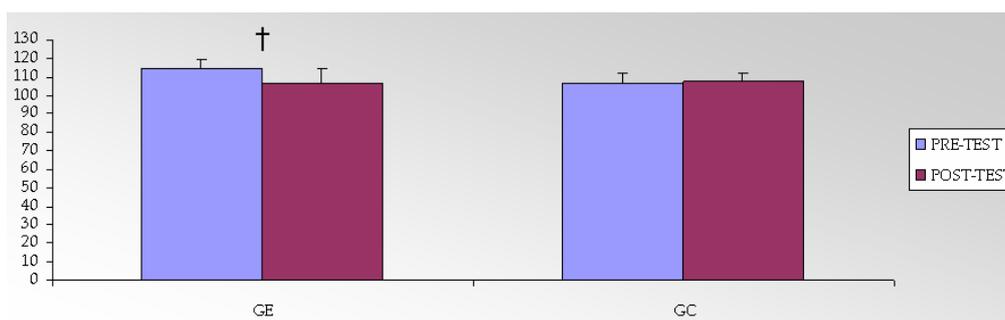
En la Tabla 32 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en el apoyo 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 32.** Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |      | CaderaL<br>(°) | CaderaA<br>(°) | RodillaL<br>(°) | RodillaA<br>(°) | TobilloL<br>(°) | TobilloA<br>(°) |
|--------------|------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Experimental | Pre  | 126.5 ± 8.2    | 102.9 ± 7.1    | 79.4 ± 13.0     | 114.2 ± 5.2     | 103.8 ± 8.1     | 61.9 ± 6.4      |
|              | Post | 134.3 ± 23.8   | 104.3 ± 13.0   | 84.0 ± 32.1     | 106.6 ± 8.1†    | 102.5 ± 10.2    | 57.5 ± 9.9      |
|              | Δ %  | 3.3 ± 18.8     | 0.2 ± 13.2     | -6.2 ± 42.4     | -7.4 ± 5.6      | -2.0 ± 12.9     | -10.2 ± 20.8    |
| Control      | Pre  | 137.7 ± 14.0   | 101.0 ± 9.1    | 88.2 ± 15.9     | 107.0 ± 5.3     | 100.5 ± 10.1    | 59.4 ± 6.2      |
|              | Post | 140.5 ± 11.1   | 98.3 ± 9.9     | 90.0 ± 14.6     | 107.1 ± 5.1     | 102.9 ± 4.8     | 62.7 ± 5.7      |
|              | Δ %  | 1.5 ± 12.9     | -3.2 ± 9.2     | -1.0 ± 28.8     | 0.0 ± 4.5       | 2.0 ± 12.7      | 4.7 ± 10.9      |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En el grupo experimental se ha observado una disminución estadísticamente significativa del  $7.4 \pm 5.6\%$  en el ángulo de la articulación de la rodilla de la pierna de apoyo (Figura 43). En el GC, no se han observado diferencias estadísticamente significativas.



**Figura 43.** Ángulo (°) de la articulación de la rodilla de la extremidad de apoyo en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ).

En la Tabla 33 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos del muslo, pierna y pie de la extremidad libre y de apoyo en el apoyo 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %). No se han encontrado diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los segmentos del tren inferior en el tercer apoyo de la fase de aceleración inicial.

**Tabla 33.** Ángulos de los segmentos del tren inferior en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |            | MusloL<br>(°)   | MusloA<br>(°)    | PiernaL<br>(°)  | PiernaA<br>(°)   | PieL<br>(°)      | PieA<br>(°)       |
|--------------|------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------|
| Experimental | Pre        | 87.8 $\pm$ 5.8  | 64.2 $\pm$ 5.8   | 98.3 $\pm$ 7.4  | 40.0 $\pm$ 4.7   | 112.1 $\pm$ 9.9  | 12.0 $\pm$ 4.4    |
|              | Post       | 88.1 $\pm$ 22.3 | 58.1 $\pm$ 11.8  | 94.2 $\pm$ 15.6 | 41.5 $\pm$ 10.1  | 106.7 $\pm$ 11.1 | 9.0 $\pm$ 4.3     |
|              | $\Delta$ % | -7.3 $\pm$ 38.6 | -15.1 $\pm$ 30.7 | -6.5 $\pm$ 17.2 | -1.2 $\pm$ 25.9  | -5.9 $\pm$ 12.8  | -76.6 $\pm$ 143.3 |
| Control      | Pre        | 95.6 $\pm$ 10.9 | 58.9 $\pm$ 10.3  | 97.4 $\pm$ 6.6  | 41.9 $\pm$ 7.7   | 107.9 $\pm$ 9.3  | 11.4 $\pm$ 5.9    |
|              | Post       | 97.4 $\pm$ 9.7  | 55.2 $\pm$ 9.6   | 97.5 $\pm$ 8.5  | 38.1 $\pm$ 6.5   | 110.4 $\pm$ 7.6  | 10.7 $\pm$ 8.9    |
|              | $\Delta$ % | 1.3 $\pm$ 13.3  | -9.0 $\pm$ 22.3  | -0.6 $\pm$ 11.5 | -13.2 $\pm$ 30.5 | 2.3 $\pm$ 2.4    | 24.2 $\pm$ 74.6   |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo;  $\Delta$  = diferencia.

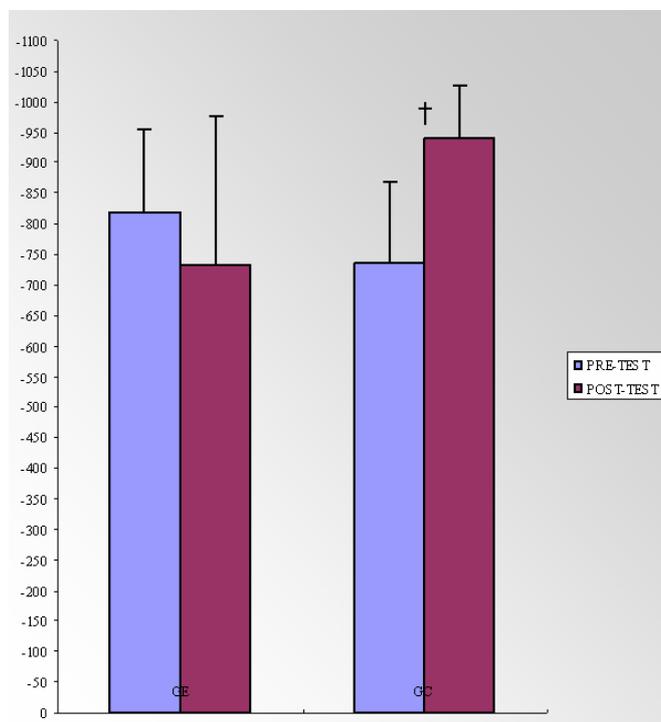
En la Tabla 34 se pueden observar las variables cinemáticas de las velocidades angulares de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en el apoyo 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 34.** Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el apoyo 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |      | Va<br>CaderaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>CaderaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Experimental | Pre  | -550 ± 136                            | 397 ± 155                             | -817 ± 137                             | 146 ± 189                              | -144 ± 188                             | -330 ± 103                             |
|              | Post | -649 ± 171                            | 303 ± 167                             | -733 ± 244                             | 123 ± 94                               | -165 ± 132                             | -225 ± 191                             |
|              | Δ %  | 13.1 ± 16.6                           | -9.1 ± 55.5                           | -25.4 ± 55.3                           | 155 ± 303                              | -16.6 ± 465                            | 48.6 ± 274                             |
| Control      | Pre  | -521 ± 172.1                          | 354 ± 39                              | -736 ± 133                             | 167 ± 99                               | -243 ± 118                             | -275 ± 140                             |
|              | Post | -564 ± 191.4                          | 318 ± 98                              | -939 ± 87.2†                           | 171 ± 160                              | -155 ± 97.4†                           | -169 ± 221                             |
|              | Δ %  | 0.7 ± 46.3                            | -21.9 ± 48.8                          | 21.0 ± 17.5                            | 41 ± 123                               | -68.9 ± 30.4                           | 80.1 ± 301                             |

Va = velocidad angular; L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. +ve = extensión; -ve = flexión.

Se produjo una disminución estadísticamente significativa en la velocidad angular del tobillo en la pierna libre del  $68.9 \pm 30.4\%$  en el grupo control. Esta disminución se ha visto acompañada de un aumento estadísticamente significativo de la velocidad angular de la rodilla libre del  $21.0 \pm 17.5\%$  para el mismo grupo (Figura 44). No se han observado diferencias estadísticamente significativas en el GE.



**Figura 44.** Velocidad angular ( $^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) de la articulación de la rodilla de la extremidad libre ( $^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) en el pre y post-test del grupo experimental (GE) y el grupo control (GC).  
† = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ).

En la Tabla 35 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de tronco, brazo derecho e izquierdo, antebrazo derecho e izquierdo en el despegue 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %). No se han observado diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los segmentos del tren superior y tronco en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial.

**Tabla 35.** Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |      | Tronco<br>(°) | BrazoD<br>(°) | BrazoI<br>(°) | AntebrazoD<br>(°) | AntebrazoI<br>(°) |
|--------------|------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Experimental | Pre  | 37.9 ± 6.6    | -66.0 ± 10.3  | 6.8 ± 15.9    | -48.8 ± 9.1       | 131.4 ± 14.1      |
|              | Post | 39.9 ± 5.3    | -73.7 ± 6.7   | -2.5 ± 29.2   | -29.3 ± 28.3      | 98.0 ± 44.2       |
|              | Δ %  | 4.8 ± 12.3    | 9.7 ± 17.3    | 46.2 ± 58.7   | -0.8 ± 106.2      | -103.1 ± 209      |
| Control      | Pre  | 40.0 ± 3.7    | -74.6 ± 7.9   | -7.2 ± 21.4   | -36.4 ± 12.0      | 88.1 ± 47.4       |
|              | Post | 39.5 ± 4.2    | -68.5 ± 12.7  | -1.5 ± 17.1   | -38.7 ± 13.6      | 95.3 ± 27.9       |
|              | Δ %  | -1.7 ± 10.6   | -11.9 ± 21.2  | -25.2 ± 93.6  | -0.3 ± 35.5       | 7.9 ± 41.1        |

D = derecho; I = izquierdo; Δ = diferencia.

En la Tabla 36 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en el despegue 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media ± SD, diferencias %). No se han observado diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los ángulos de las articulaciones del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración en ambos grupos.

**Tabla 36.** Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |      | CaderaL<br>(°) | CaderaA<br>(°) | RodillaL<br>(°) | RodillaA<br>(°) | TobilloL<br>(°) | TobilloA<br>(°) |
|--------------|------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Experimental | Pre  | 63.8 ± 7.7     | 158.6 ± 7.8    | 87.2 ± 8.5      | 150.3 ± 5.1     | 63.7 ± 4.8      | 108.1 ± 8.9     |
|              | Post | 69.8 ± 4.6     | 155.6 ± 5.2    | 91.3 ± 15.4     | 135.4 ± 17.7    | 64.6 ± 5.5      | 106.5 ± 11.9    |
|              | Δ %  | 8.3 ± 11.7     | -2.0 ± 4.6     | 2.2 ± 17.6      | -13.2 ± 19.4    | 1.2 ± 5.9       | -2.5 ± 13.7     |
| Control      | Pre  | 71.3 ± 6.4     | 158.0 ± 10.2   | 93.7 ± 11.2     | 137.2 ± 18.7    | 62.9 ± 5.2      | 105 ± 3.8       |
|              | Post | 66.5 ± 5.4     | 158.8 ± 2.0    | 90.0 ± 10.8     | 143.1 ± 7.5     | 63.9 ± 5.3      | 106.7 ± 5.9     |
|              | Δ %  | -7.6 ± 11.7    | 0.4 ± 6.6      | -4.4 ± 10.5     | 4.1 ± 12.1      | 1.4 ± 4.5       | 1.4 ± 4.1       |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia.

En la Tabla 37 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos del muslo, pierna y pie de la extremidad libre y de apoyo en el despegue 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media ± SD, diferencias %). No se han observado diferencias significativas en ninguno de los ángulos de los segmentos del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración en ambos grupos.

**Tabla 37.** Ángulos de los segmentos del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |      | MusloL<br>(°) | MusloA<br>(°) | PiernaL<br>(°) | PiernaA<br>(°) | PieL<br>(°)   | PieA<br>(°) |
|--------------|------|---------------|---------------|----------------|----------------|---------------|-------------|
| Experimental | Pre  | 26.0 ± 2.5    | 120.7 ± 3.4   | 28.8 ± 7.9     | 60.4 ± 2.9     | 2.5 ± 8.9     | 78.5 ± 11.1 |
|              | Post | 29.9 ± 4.4    | 115.7 ± 6.5   | 28.7 ± 12.2    | 70.3 ± 13.8    | 3.2 ± 16.2    | 86.8 ± 22.4 |
|              | Δ %  | 11.5 ± 16.2   | -4.6 ± 6.5    | -7.9 ± 37.4    | 11.2 ± 17.7    | 128.6 ± 154.4 | 1.7 ± 37.1  |
| Control      | Pre  | 31.3 ± 5.4    | 118.1 ± 8.0   | 27.6 ± 9.9     | 70.9 ± 11.1    | 0.6 ± 7.9     | 85.9 ± 11.4 |
|              | Post | 27.0 ± 2.6    | 119.2 ± 3.3   | 27.0 ± 10.6    | 66.2 ± 5.1     | 0.9 ± 11.2    | 82.9 ± 7.8  |
|              | Δ %  | -17.9 ± 28.4  | 1.0 ± 5.8     | -7.3 ± 35.3    | -7.4 ± 17.2    | 49.0 ± 91.0   | -4.5 ± 17.7 |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia.

En la Tabla 38 se pueden observar las variables cinemáticas de la velocidad angular de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en el despegue 3 de la fase de aceleración para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %). No existen diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las velocidades angulares de las articulaciones del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial.

**Tabla 38.** Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el despegue 3 de la fase de aceleración inicial.

|              |            | Va<br>CaderaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>CaderaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Experimental | Pre        | 136 $\pm$ 205                         | -91 $\pm$ 189                         | 608 $\pm$ 130                          | -438 $\pm$ 327                         | 32 $\pm$ 91                            | 418 $\pm$ 334                          |
|              | Post       | 208 $\pm$ 230                         | -257 $\pm$ 217                        | 414 $\pm$ 187                          | -687 $\pm$ 458                         | -34 $\pm$ 150                          | 382 $\pm$ 374                          |
|              | $\Delta$ % | 61.9 $\pm$ 98.5                       | 90.7 $\pm$ 74.6                       | -107.1 $\pm$ 163.6                     | 78.8 $\pm$ 96.7                        | -33.6 $\pm$ 215.3                      | -162.3 $\pm$ 359                       |
| Control      | Pre        | 258 $\pm$ 178                         | -277 $\pm$ 189                        | 475 $\pm$ 153                          | -756.3 $\pm$ 249                       | 84.1 $\pm$ 107.8                       | 235 $\pm$ 257                          |
|              | Post       | 234 $\pm$ 86                          | -267 $\pm$ 120                        | 645 $\pm$ 144                          | -711 $\pm$ 285                         | 119.5 $\pm$ 89.7                       | 329 $\pm$ 267                          |
|              | $\Delta$ % | -31.7 $\pm$ 108                       | -43.0 $\pm$ 138                       | 24.3 $\pm$ 28.8                        | -24.1 $\pm$ 68.9                       | -0.2 $\pm$ 148.6                       | 59.8 $\pm$ 204.6                       |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. +ve = extensión; -ve = flexión.

En la Tabla 39 se pueden observar las variables cinemáticas de la amplitud y frecuencia de zancada, distancia de aterrizaje y tiempo de contacto en la fase de

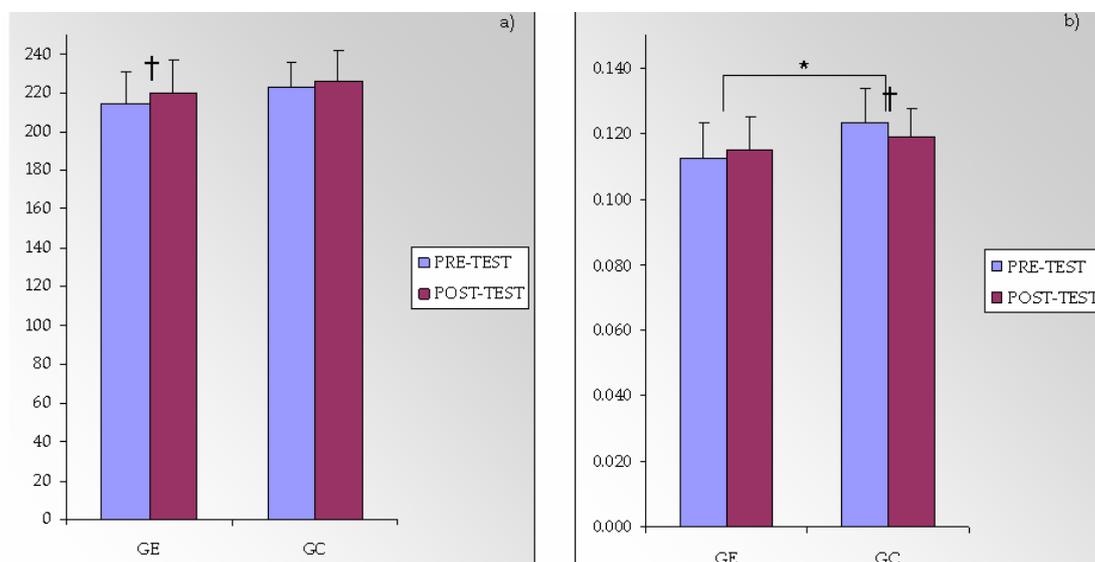
máxima velocidad para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 39.** Amplitud y frecuencia de zancada, distancia de apoyo y tiempo de contacto en la fase de máxima velocidad (45 m).

|              |            | Amplitud<br>(cm)  | Frecuencia<br>(Hz) | Dis. Aterrizaje<br>(cm) | T. Contacto<br>(s) |
|--------------|------------|-------------------|--------------------|-------------------------|--------------------|
| Experimental | Pre        | 214.6 $\pm$ 16.6  | 4.29 $\pm$ 0.30    | 38.1 $\pm$ 4.6          | 0.113 $\pm$ 0.011  |
|              | Post       | 220.3 $\pm$ 16.8† | 4.20 $\pm$ 0.34    | 41.2 $\pm$ 3.5†         | 0.115 $\pm$ 0.010  |
|              | $\Delta$ % | 2.7 $\pm$ 2.5     | -2.2 $\pm$ 3.0     | 7.5 $\pm$ 7.3           | 2.4 $\pm$ 5.4      |
| Control      | Pre        | 222.7 $\pm$ 12.8  | 4.16 $\pm$ 0.16    | 44.0 $\pm$ 6.0          | 0.124 $\pm$ 0.010  |
|              | Post       | 226.0 $\pm$ 16.0  | 4.14 $\pm$ 0.18    | 44.5 $\pm$ 4.4          | 0.119 $\pm$ 0.008† |
|              | $\Delta$ % | 1.4 $\pm$ 2.2     | -0.5 $\pm$ 4.3     | 1.3 $\pm$ 9.6           | -3.5 $\pm$ 3.2*    |

Dis. = distancia; T = tiempo;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test; \* = diferencias estadísticamente significativas en las variaciones entre el pre y el post-test de los grupos.

Se ha observado un aumento estadísticamente significativo de la amplitud de zancada del  $2.7 \pm 2.5\%$  (Figura 45) y de la distancia de aterrizaje del  $7.5\%$  en el grupo experimental. En el grupo control se produjo un descenso estadísticamente significativo del  $3.5 \pm 3.2\%$  en el tiempo de contacto (Figura 45). Además, la modificación es mayor que en el grupo experimental y es estadísticamente significativa.



**Figura 45.** a) Amplitud de zancada (cm) y b) tiempo de contacto (s) en la fase de máxima velocidad (45 m) en el pre y post-test para el grupo experimental (GE) y para el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ). \* = diferencias estadísticamente significativas en las variaciones entre el pre y el post-test de los grupos.

En la Tabla 40 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de tronco, brazo derecho e izquierdo, antebrazo derecho e izquierdo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{\text{down}}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %). No se han observado diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en  $T_{\text{down}}$  en la fase de máxima velocidad en ambos grupos.

**Tabla 40.** Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el instante  $T_{\text{down}}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | Tronco       | BrazoD       | BrazoI       | AntebrazoD  | AntebrazoI  |
|--------------|------|--------------|--------------|--------------|-------------|-------------|
|              |      | (°)          | (°)          | (°)          | (°)         | (°)         |
| Experimental | Pre  | 10.9 ± 5.7   | -6.8 ± 13.2  | -23.8 ± 14.1 | 38.7 ± 12.7 | 58.5 ± 8.6  |
|              | Post | 9.3 ± 4.3    | -2.6 ± 8.6   | -27.7 ± 13.3 | 40.8 ± 17.2 | 55.7 ± 10.4 |
|              | Δ %  | -22.9 ± 42.0 | -86.8 ± 416  | 14.3 ± 50.5  | -1.8 ± 33.1 | -6.4 ± 14.0 |
| Control      | Pre  | 10.6 ± 3.8   | -10.2 ± 13.5 | -29.5 ± 10.6 | 37.5 ± 16.8 | 49.8 ± 10.5 |
|              | Post | 9.9 ± 4.1    | -9.8 ± 12.5  | -28.2 ± 11.9 | 35.5 ± 11.7 | 54.8 ± 8.0  |
|              | Δ %  | -25.1 ± 63.4 | 51.7 ± 768   | -13.7 ± 41.1 | -1.9 ± 25.8 | 8.6 ± 12.0  |

D = derecho; I = izquierdo; Δ = diferencia.

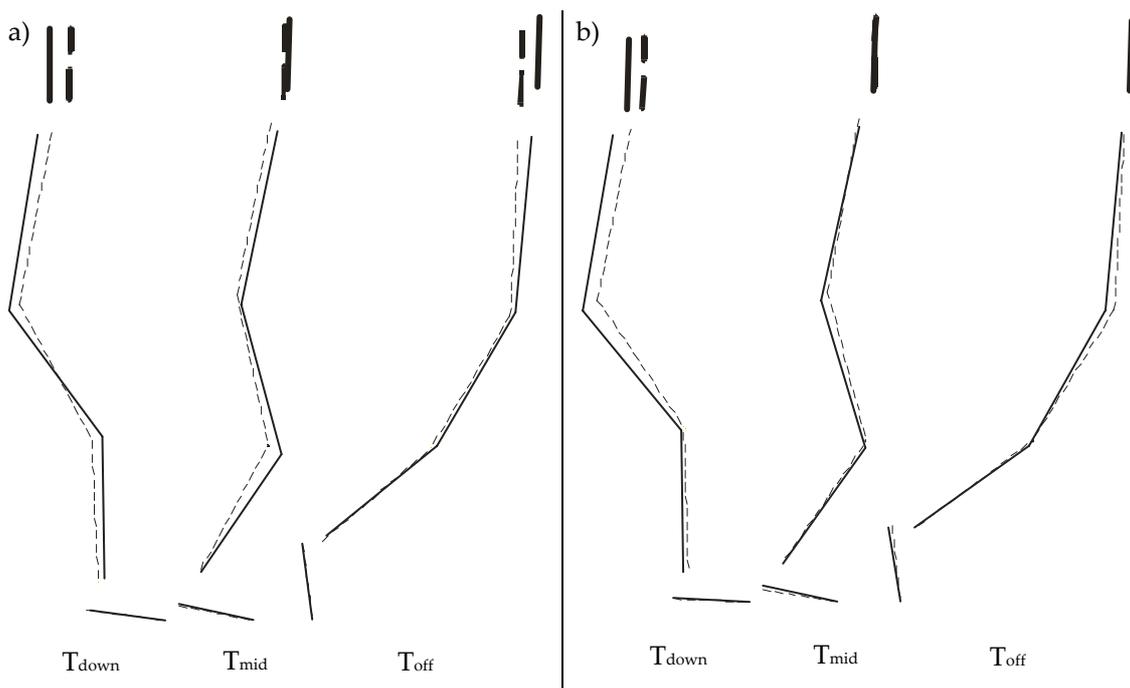
En la Tabla 41 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{\text{down}}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media ± SD, diferencias %).

**Tabla 41.** Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el instante  $T_{\text{down}}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | CaderaL     | CaderaA     | RodillaL     | RodillaA     | TobilloL     | TobilloA    |
|--------------|------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
|              |      | (°)         | (°)         | (°)          | (°)          | (°)          | (°)         |
| Experimental | Pre  | 88.5 ± 6.8  | 67.1 ± 5.7  | 49.7 ± 8.0   | 152.3 ± 7.2  | 120.2 ± 9.1  | 100.1 ± 5.2 |
|              | Post | 91.2 ± 8.8  | 62.9 ± 3.4† | 45.1 ± 6.6   | 144.7 ± 5.8† | 116.6 ± 6.1† | 98.9 ± 4.1  |
|              | Δ %  | 2.5 ± 9.1   | -6.6 ± 7.0  | -11.3 ± 18.7 | -5.4 ± 4.8   | -3.0 ± 4.3   | -1.4 ± 6.9  |
| Control      | Pre  | 93.8 ± 12.6 | 65.1 ± 5.6  | 50.1 ± 7.5   | 147.6 ± 4.6  | 114.3 ± 7.0  | 94.2 ± 7.0  |
|              | Post | 92.8 ± 9.5  | 61.9 ± 5.0  | 46.1 ± 5.4   | 143.1 ± 4.5† | 113.1 ± 5.6  | 94.9 ± 7.4  |
|              | Δ %  | -1.2 ± 10.6 | -5.7 ± 12.5 | -9.3 ± 15.5  | -3.2 ± 3.9   | -1.2 ± 5.7   | 0.7 ± 4.4   |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo;  $\Delta$  = diferencia; + = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre y el post-test.

En el grupo experimental se produjo una reducción estadísticamente significativa en el ángulo de la cadera y la rodilla de la extremidad de apoyo del  $6.6 \pm 7.6\%$  y del  $5.4 \pm 4.8\%$ , respectivamente, y en el ángulo del tobillo de la extremidad libre del  $3.0 \pm 4.3\%$ . Para el grupo control se ha observado una reducción estadísticamente significativa del ángulo de la rodilla de la extremidad de apoyo del  $3.2 \pm 3.9\%$ .



**Figura 46.** Configuración de las articulaciones y segmentos del tren inferior y tronco en el pre (líneas discontinuas) y el post-test (líneas continuas) tanto para el grupo experimental (a) como para el grupo control (b) en los tres instantes de la carrera en la fase de máxima velocidad.

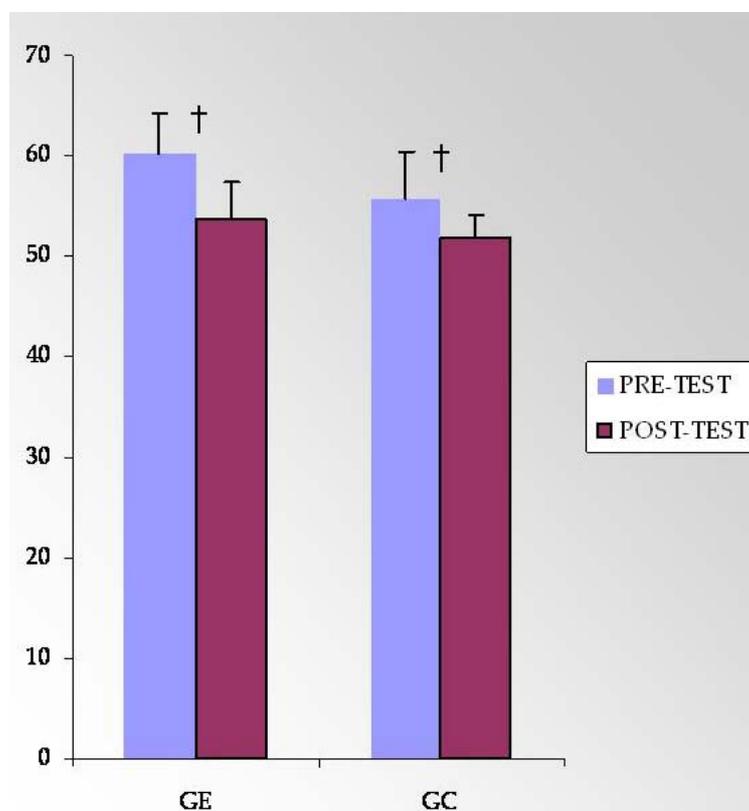
En la Tabla 42 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos del muslo, pierna y pie de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{\text{down}}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 42.** Ángulos de los segmentos del tren inferior en el instante  $T_{\text{down}}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |            | MusloL          | MusloA          | PiernaL          | PiernaA         | PieL             | PieA            |
|--------------|------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|
|              |            | (°)             | (°)             | (°)              | (°)             | (°)              | (°)             |
| Experimental | Pre        | 81.5 $\pm$ 5.8  | 60.2 $\pm$ 4.1  | 121.9 $\pm$ 6.8  | -2.2 $\pm$ 3.7  | 152.1 $\pm$ 11.4 | 7.9 $\pm$ 3.0   |
|              | Post       | 81.9 $\pm$ 7.3  | 53.7 $\pm$ 3.8† | 126.8 $\pm$ 7.1† | -1.0 $\pm$ 2.8  | 153.4 $\pm$ 11.6 | 7.9 $\pm$ 2.9   |
|              | $\Delta$ % | -0.2 $\pm$ 11.2 | -12.3 $\pm$ 6.7 | 3.8 $\pm$ 5.4    | -54.0 $\pm$ 312 | 0.7 $\pm$ 5.5    | -33.6 $\pm$ 130 |
| Control      | Pre        | 84.4 $\pm$ 9.9  | 55.7 $\pm$ 4.8  | 124.3 $\pm$ 7.6  | -1.9 $\pm$ 4.2  | 148.6 $\pm$ 5.7  | 2.3 $\pm$ 6.8   |
|              | Post       | 82.8 $\pm$ 7.7  | 52.0 $\pm$ 2.2† | 126.7 $\pm$ 5.5  | -1.1 $\pm$ 4.1  | 149.8 $\pm$ 6.6  | 3.7 $\pm$ 7.9   |
|              | $\Delta$ % | -2.3 $\pm$ 11.2 | -7.2 $\pm$ 8.8  | 1.9 $\pm$ 3.4    | 25.2 $\pm$ 256  | 0.6 $\pm$ 5.8    | 39.4 $\pm$ 73   |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En la Figura 47 se pueden observar los descensos estadísticamente significativos producidos tras el entrenamiento en el ángulo del muslo de la extremidad de apoyo en  $T_{\text{down}}$  tanto en el grupo experimental (12.3  $\pm$  6.7%) como en el grupo control (7.2  $\pm$  8.8%). Además, en el grupo experimental se ha producido un aumento estadísticamente significativo del ángulo de la pierna libre del 3.8  $\pm$  5.4%.



**Figura 47.** Ángulo del muslo (°) de la extremidad de apoyo en  $T_{\text{down}}$  en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC). † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

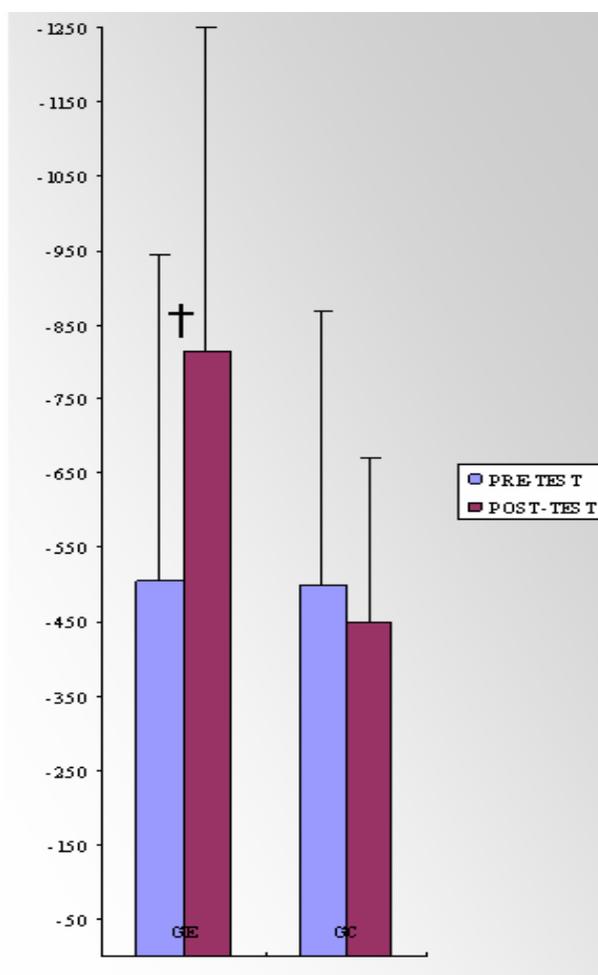
En la Tabla 43 se pueden observar las variables cinemáticas de la velocidad angular de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{\text{down}}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 43.** Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el instante  $T_{\text{down}}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | Va<br>CaderaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>CaderaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Experimental | Pre  | -504 ± 438                            | 463 ± 109                             | -416 ± 326                             | 266 ± 347                              | -271 ± 75                              | -356 ± 165                             |
|              | Post | -815 ± 435†                           | 601 ± 215                             | -815 ± 565                             | 413 ± 226                              | -560 ± 232                             | -457 ± 403                             |
|              | Δ %  | 39.2 ± 32.2                           | 7.4 ± 55.7                            | 39.6 ± 48.4                            | 3.8 ± 140.0                            | 46.7 ± 21.1                            | 105 ± 137                              |
| Control      | Pre  | -499 ± 371                            | 463 ± 211                             | -636 ± 259                             | 158 ± 117                              | -504 ± 521                             | -380 ± 245                             |
|              | Post | -450 ± 221                            | 505 ± 197                             | -672 ± 479                             | 389 ± 316                              | -337 ± 315                             | -351 ± 256                             |
|              | Δ %  | -9.2 ± 54.6                           | 0.0 ± 52                              | -145 ± 363                             | 37.6 ± 50.7                            | 77.1 ± 224                             | -52.6 ± 107                            |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. +ve = extensión; -ve = flexión.

En el grupo experimental se produjo un aumento estadísticamente significativo de la velocidad angular de la cadera de la extremidad libre en extensión en el instante  $T_{\text{down}}$  del  $39.2 \pm 32.2\%$  (Figura 48). En el grupo control no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las velocidades angulares de las articulaciones del tren inferior en  $T_{\text{down}}$ .



**Figura 48.** Velocidad angular ( $^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ ) de la articulación de la cadera de la extremidad libre en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{\text{down}}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En la Tabla 44 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de tronco, brazo derecho e izquierdo, antebrazo derecho e izquierdo en la fase de

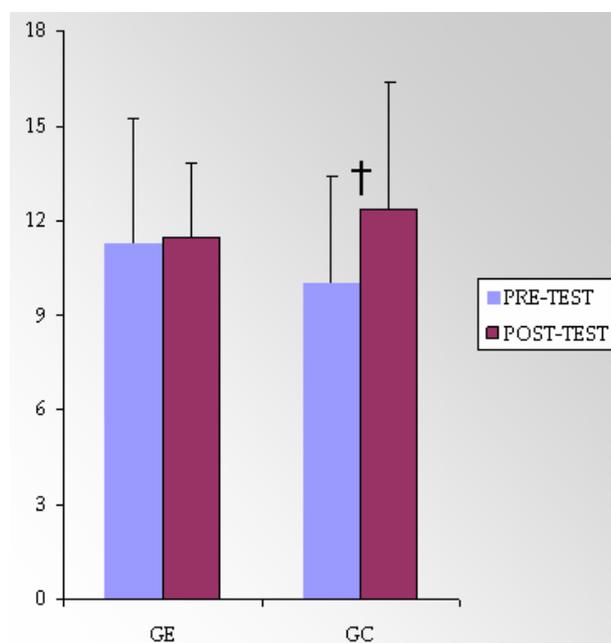
máxima velocidad y para el instante  $T_{mid}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 44.** Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el instante  $T_{mid}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |            | Tronco<br>(°)               | BrazoD<br>(°)    | BrazoI<br>(°)   | AntebrazoD<br>(°) | AntebrazoI<br>(°) |
|--------------|------------|-----------------------------|------------------|-----------------|-------------------|-------------------|
| Experimental | Pre        | 11.3 $\pm$ 3.9              | -42.1 $\pm$ 18.3 | 10.0 $\pm$ 13.5 | 11.7 $\pm$ 16.1   | 100.4 $\pm$ 8.9   |
|              | Post       | 11.5 $\pm$ 2.4              | -33.6 $\pm$ 11.5 | 9.0 $\pm$ 11.9  | 10.0 $\pm$ 20.4   | 99.5 $\pm$ 13.6   |
|              | $\Delta$ % | -4.2 $\pm$ 50.7             | -34.4 $\pm$ 57.3 | 16.6 $\pm$ 144  | 232 $\pm$ 353     | -1.9 $\pm$ 11.4   |
| Control      | Pre        | 10.0 $\pm$ 3.4              | -35.4 $\pm$ 11.9 | 6.1 $\pm$ 9.3   | 5.4 $\pm$ 18.7    | 95.4 $\pm$ 9.3    |
|              | Post       | 12.4 $\pm$ 4.0 <sup>†</sup> | -44.4 $\pm$ 6.6  | 5.2 $\pm$ 8.3   | 8.6 $\pm$ 15.7    | 96.1 $\pm$ 8.4    |
|              | $\Delta$ % | 16.9 $\pm$ 24.8             | 20.6 $\pm$ 25.4  | -135 $\pm$ 438  | -112 $\pm$ 311    | 0.7 $\pm$ 6.4     |

D = derecho; I = izquierdo;  $\Delta$  = diferencia. <sup>†</sup> = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

Se produjo un aumento estadísticamente significativo en la inclinación del tronco del grupo control en el instante  $T_{mid}$  del 16.9  $\pm$  24.8%. En el grupo experimental no se han observado diferencias estadísticamente significativas en la inclinación del tronco en el mismo instante.



**Figura 49.** Inclinação del tronco (°) en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{mid}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

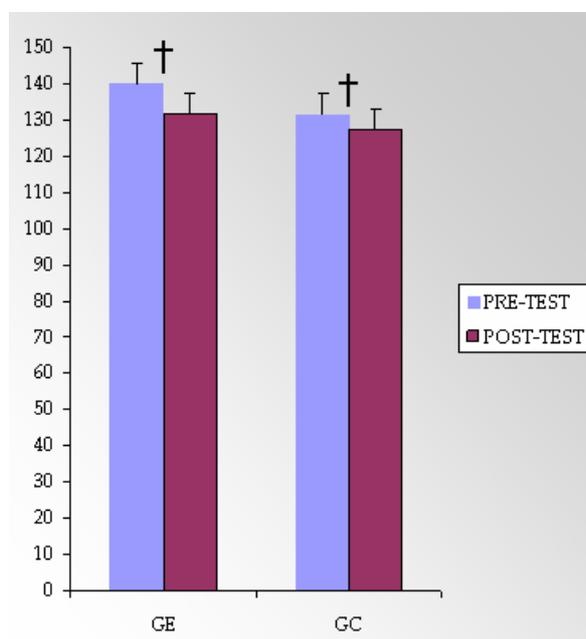
En la Tabla 45 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{mid}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 45.** Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el instante  $T_{mid}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | CaderaL<br>(°) | CaderaA<br>(°) | RodillaL<br>(°) | RodillaA<br>(°) | TobilloL<br>(°) | TobilloA<br>(°) |
|--------------|------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Experimental | Pre  | 55.0 ± 7.4     | 86.1 ± 3.3     | 37.1 ± 6.2      | 139.9 ± 5.9     | 110.4 ± 10.9    | 72.7 ± 4.0      |
|              | Post | 57.2 ± 8.5     | 86.7 ± 4.6     | 32.3 ± 6.5†     | 131.5 ± 5.7†    | 108.1 ± 7.4     | 68.0 ± 1.5      |
|              | Δ %  | 2.3 ± 16.8     | 0.5 ± 5.6      | -16.6 ± 19.8    | -6.5 ± 4.6      | -2.2 ± 8.0      | -7.0 ± 4.9      |
| Control      | Pre  | 54.4 ± 8.7     | 84.8 ± 5.3     | 33.6 ± 5.9      | 131.2 ± 6.4     | 104.7 ± 9.1     | 65.1 ± 2.3      |
|              | Post | 57.2 ± 8.3     | 85.6 ± 3.8     | 29.1 ± 3.8†     | 127.2 ± 5.8†    | 102.8 ± 6.8     | 65.6 ± 3.4      |
|              | Δ %  | 4.2 ± 8.3      | 0.9 ± 5.6      | -15.9 ± 17.0    | -3.2 ± 4.3      | -1.9 ± 4.5      | 0.5 ± 6.0       |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

Se produjeron disminuciones estadísticamente significativas similares del ~ 16% en la rodilla de la extremidad libre en ambos grupos. Además, se han producido reducciones estadísticamente significativas en la rodilla de la extremidad de apoyo del  $6.5 \pm 4.6\%$  en el grupo experimental y del  $3.2 \pm 4.3\%$  en el grupo control (Figura 50).



**Figura 50.** Ángulo (°) de la articulación de la rodilla de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{mid}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

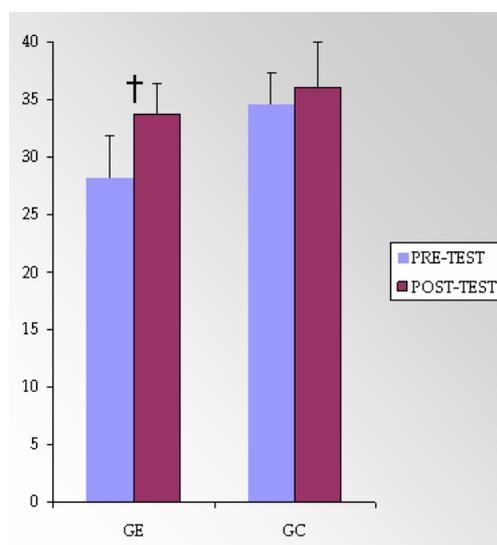
En la Tabla 46 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos del muslo, pierna y pie de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{mid}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 46.** Ángulos de los segmentos del tren inferior en el instante  $T_{mid}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | MusloL<br>(°) | MusloA<br>(°) | PiernaL<br>(°) | PiernaA<br>(°) | PieL<br>(°)  | PieA<br>(°) |
|--------------|------|---------------|---------------|----------------|----------------|--------------|-------------|
| Experimental | Pre  | 47.0 ± 5.7    | 78.1 ± 3.8    | 99.9 ± 8.7     | 28.2 ± 3.7     | 120.3 ± 18.9 | 10.9 ± 2.6  |
|              | Post | 45.7 ± 9.6    | 75.2 ± 3.8†   | 103.4 ± 10.0   | 33.7 ± 2.7†    | 121.5 ± 14.5 | 11.7 ± 2.5  |
|              | Δ %  | -6.7 ± 23.5   | -4.0 ± 5.6    | 3.0 ± 8.2      | 16.3 ± 9.5     | 0.7 ± 13.5   | 4.3 ± 25.8  |
| Control      | Pre  | 45.4 ± 7.5    | 75.7 ± 3.9    | 101.8 ± 9.2    | 34.5 ± 2.8     | 116.4 ± 10.7 | 9.6 ± 2.0   |
|              | Post | 44.8 ± 5.3    | 73.2 ± 2.9†   | 105.7 ± 8.0    | 36.0 ± 3.9     | 118.5 ± 10.0 | 11.6 ± 1.8  |
|              | Δ %  | -1.8 ± 17.3   | -3.5 ± 4.6    | 3.6 ± 6.4      | 3.6 ± 9.1      | 1.5 ± 7.1    | 14.3 ± 24.9 |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

Se produjeron descensos estadísticamente significativos similares, del ~ 4% en el muslo de la extremidad de apoyo en ambos grupos en el instante  $T_{mid}$ . Por otro lado, se produjeron incrementos estadísticamente significativos del ángulo de la pierna de la extremidad de apoyo en el grupo experimental del  $16.3 \pm 9.5\%$  en el instante  $T_{mid}$  (Figura 51).



**Figura 51.** Ángulo (°) del segmento pierna de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{mid}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

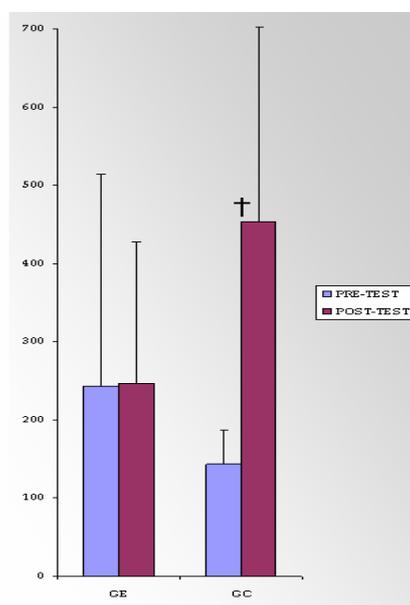
En la Tabla 47 se pueden observar las variables cinemáticas de la velocidad angular de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{mid}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 47.** Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el instante  $T_{mid}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | Va<br>CaderaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>CaderaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Experimental | Pre  | -686 ± 141                            | 629 ± 233                             | 243 ± 271                              | 294 ± 357                              | -695 ± 334                             | -1047 ± 836                            |
|              | Post | -671 ± 504                            | 476 ± 260                             | 247 ± 180                              | 316 ± 157                              | -356 ± 248                             | -1533 ± 1289                           |
|              | Δ %  | -85.2 ± 210                           | -67.6 ± 94.7                          | -66.3 ± 205                            | -20.1 ± 156.2                          | -198.2 ± 257.9                         | 12.1 ± 36.9                            |
| Control      | Pre  | -874 ± 615                            | 652 ± 327                             | 143 ± 42                               | 233 ± 137                              | -232 ± 195                             | -550 ± 425                             |
|              | Post | -532 ± 272                            | 676 ± 254                             | 453 ± 248 <sup>+</sup>                 | 278 ± 339                              | -427 ± 278 <sup>+</sup>                | -1147 ± 402 <sup>+</sup>               |
|              | Δ %  | -108.7 ± 170                          | -0.2 ± 48.7                           | 56.8 ± 27.3                            | -38.4 ± 75.1                           | 47.2 ± 25.5                            | 54.5 ± 27.0                            |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0,05$ ) entre el pre y el post-test. +ve = extensión; -ve = flexión.

Se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la velocidad angular de la rodilla de la extremidad libre del  $56.8 \pm 27.3\%$  y del tobillo de la extremidad libre del  $47.2 \pm 25.5\%$  y de apoyo del  $54.5 \pm 27.0\%$  en el grupo control en el instante  $T_{mid}$  en la fase de máxima velocidad (Figura 52). En el grupo experimental no se han observado diferencias estadísticamente significativas para ninguna de las velocidades angulares del tren inferior. En cualquier caso, las desviaciones típicas son muy grandes, de esta forma, estos datos deben ser tomados con cautela.



**Figura 52.** Velocidad angular ( $^{\circ}\cdot\text{s}^{-1}$ ) del tobillo de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{\text{mid}}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En la Tabla 48 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de tronco, brazo derecho e izquierdo, antebrazo derecho e izquierdo del tren superior en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{\text{off}}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %). No se han observado diferencias estadísticamente significativas en ninguna de los segmentos del tren superior ni del tronco en el instante  $T_{\text{off}}$  en la fase de máxima velocidad.

**Tabla 48.** Ángulos de los segmentos del tren superior y tronco en el instante  $T_{off}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | Tronco<br>(°) | BrazoD<br>(°) | BrazoI<br>(°) | AntebrazoD<br>(°) | AntebrazoI<br>(°) |
|--------------|------|---------------|---------------|---------------|-------------------|-------------------|
| Experimental | Pre  | 2.8 ± 4.5     | -70.9 ± 7.7   | 37.2 ± 12.8   | -6.4 ± 10.8       | 152.7 ± 10.2      |
|              | Post | 5.0 ± 4.7     | -69.1 ± 10.6  | 38.8 ± 12.6   | -6.1 ± 15.1       | 151.7 ± 13.3      |
|              | Δ %  | 40.2 ± 65.1   | -4.1 ± 15.4   | 3.8 ± 22.5    | 26.5 ± 33.4       | -0.9 ± 4.5        |
| Control      | Pre  | 3.2 ± 3.1     | -70.0 ± 6.9   | 37.5 ± 10.6   | -4.2 ± 17.8       | 146.8 ± 13.5      |
|              | Post | 5.2 ± 3.8     | -70.0 ± 7.3   | 37.8 ± 13.9   | 0.8 ± 15.2        | 149.0 ± 10.3      |
|              | Δ %  | 92.8 ± 118.5  | -0.5 ± 11.0   | -4.7 ± 19.6   | 86.9 ± 59.6       | 1.5 ± 5.0         |

D = derecho; I = izquierdo; Δ = diferencia.

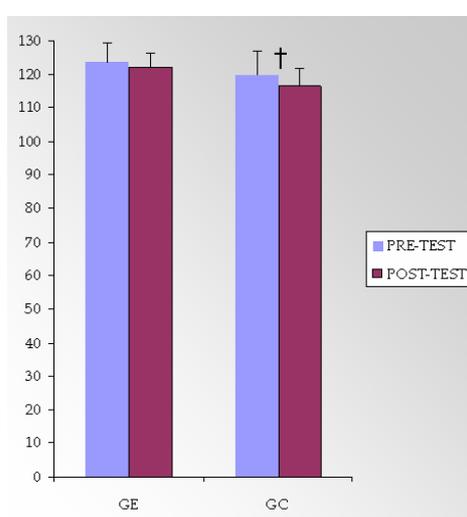
En la Tabla 49 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{off}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media ± SD, diferencias %).

**Tabla 49.** Ángulos de las articulaciones del tren inferior en el instante  $T_{off}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | CaderaL<br>(°) | CaderaA<br>(°) | RodillaL<br>(°) | RodillaA<br>(°) | TobilloL<br>(°) | TobilloA<br>(°) |
|--------------|------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| Experimental | Pre  | 24.2 ± 8.3     | 124.5 ± 5.3    | 79.7 ± 7.9      | 161.7 ± 4.7     | 88.4 ± 4.2      | 123.7 ± 5.5     |
|              | Post | 24.9 ± 6.0     | 125.0 ± 4.8    | 78.8 ± 7.1      | 159.2 ± 4.0     | 88.2 ± 7.8      | 122.0 ± 4.3     |
|              | Δ %  | 1.8 ± 27.9     | 0.4 ± 4.9      | -1.7 ± 11.9     | -1.6 ± 3.0      | -0.8 ± 8.0      | -1.4 ± 3.0      |
| Control      | Pre  | 20.5 ± 5.4     | 125.4 ± 6.0    | 76.1 ± 7.1      | 158.8 ± 5.6     | 85.5 ± 5.7      | 119.1 ± 6.9     |
|              | Post | 22.5 ± 5.4     | 124.7 ± 6.7    | 76.3 ± 7.9      | 155.3 ± 6.3     | 85.5 ± 5.5      | 116.6 ± 5.2†    |
|              | Δ %  | 8.8 ± 16.2     | -0.8 ± 6.2     | 0.0 ± 7.5       | -2.5 ± 5.7      | 0.0 ± 4.7       | -2.9 ± 3.5      |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

Se produjo una disminución estadísticamente significativa en el ángulo del tobillo de la extremidad de apoyo en el grupo control en el instante  $T_{off}$  del  $2.9 \pm 3.5\%$  (Figura 53). En el grupo experimental no se han observado diferencias estadísticamente significativas en los ángulos de las articulaciones del tren inferior.



**Figura 53.** Ángulo ( $^{\circ}$ ) del tobillo de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{off}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En la Tabla 50 se pueden observar las variables cinemáticas de los ángulos del muslo, pierna y pie de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{off}$  del apoyo de la zancada para el grupo

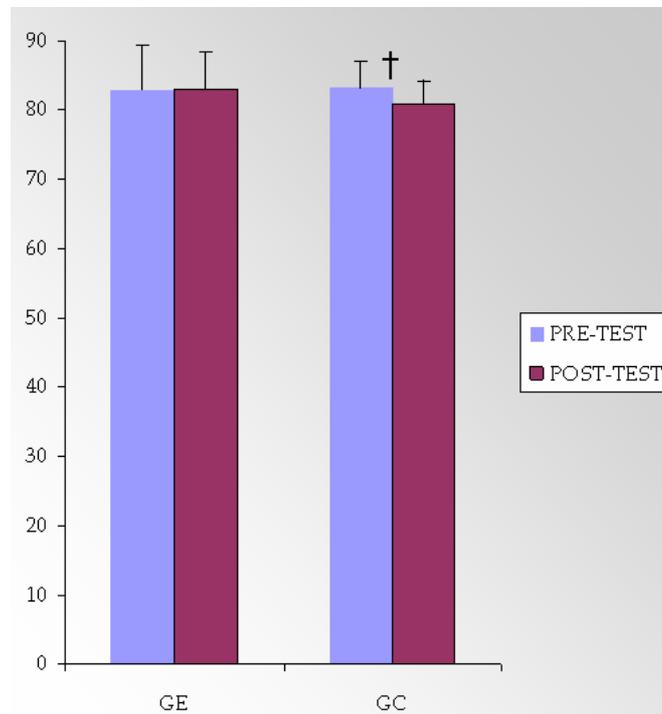
experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 50.** Ángulos de los segmentos del tren inferior en el instante  $T_{off}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |            | MusloL<br>(°)    | MusloA<br>(°)   | PiernaL<br>(°)  | PiernaA<br>(°)              | PieL<br>(°)     | PieA<br>(°)                 |
|--------------|------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------------------|-----------------|-----------------------------|
| Experimental | Pre        | 20.6 $\pm$ 5.3   | 120.9 $\pm$ 3.2 | 30.9 $\pm$ 5.8  | 49.2 $\pm$ 2.9              | 29.3 $\pm$ 8.7  | 82.9 $\pm$ 6.5              |
|              | Post       | 20.0 $\pm$ 6.0   | 120.1 $\pm$ 3.7 | 31.1 $\pm$ 8.5  | 50.9 $\pm$ 2.5 <sup>†</sup> | 29.4 $\pm$ 15.0 | 82.9 $\pm$ 5.4              |
|              | $\Delta$ % | -16.7 $\pm$ 50.8 | -0.7 $\pm$ 2.7  | -4.5 $\pm$ 27.8 | 3.3 $\pm$ 4.1               | -36.0 $\pm$ 110 | 0.0 $\pm$ 6.0               |
| Control      | Pre        | 17.1 $\pm$ 4.4   | 122.0 $\pm$ 3.4 | 31.1 $\pm$ 6.5  | 53.2 $\pm$ 4.2              | 26.5 $\pm$ 9.1  | 83.2 $\pm$ 4.0              |
|              | Post       | 17.3 $\pm$ 4.9   | 119.5 $\pm$ 4.6 | 31.1 $\pm$ 8.4  | 54.2 $\pm$ 3.4              | 26.6 $\pm$ 8.4  | 80.8 $\pm$ 3.5 <sup>†</sup> |
|              | $\Delta$ % | -2.1 $\pm$ 27.3  | -2.3 $\pm$ 5.4  | -2.8 $\pm$ 18.4 | 1.9 $\pm$ 5.8               | -0.6 $\pm$ 20.2 | -3.0 $\pm$ 3.8              |

L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo;  $\Delta$  = diferencia; <sup>†</sup> = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

Se produjeron aumentos estadísticamente significativos del  $3.3 \pm 4.1\%$  en la pierna de apoyo del grupo experimental en el instante  $T_{off}$ . En el grupo control se ha reducido un  $3.0 \pm 3.8\%$  el ángulo del pie de apoyo en el instante  $T_{off}$  (Figura 54).



**Figura 54.** Ángulo (°) del pie de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{off}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

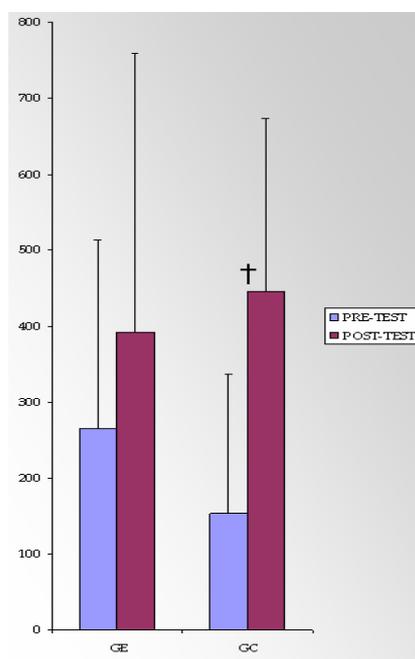
En la Tabla 51 se pueden observar las variables cinemáticas de la velocidad angular de la cadera, rodilla y tobillo de la extremidad libre y de apoyo en la fase de máxima velocidad y para el instante  $T_{off}$  del apoyo de la zancada para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 51.** Velocidad angular de las articulaciones del tren inferior en el instante  $T_{off}$  de la zancada, en la fase de máxima velocidad.

|              |      | Va<br>CaderaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>CaderaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>RodillaA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloL<br>(°·s <sup>-1</sup> ) | Va<br>TobilloA<br>(°·s <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|---------------------------------------|---------------------------------------|--|--|--|--|
| Experimental | Pre  | 149 ± 218                             | 266 ± 247                             | 1232 ± 296                             | -531 ± 476                             | -533 ± 301                             | 661 ± 446                              |
|              | Post | 295 ± 140                             | 392 ± 366                             | 1103 ± 230                             | -730 ± 311                             | -554 ± 299                             | 669 ± 283                              |
|              | Δ %  | 31.2 ± 112.1                          | 7.8 ± 66.0                            | -14.1 ± 30.8                           | 22.1 ± 61.2                            | -17.5 ± 96.4                           | -8.6 ± 78.8                            |
| Control      | Pre  | 145 ± 95                              | 154 ± 182                             | 1049 ± 317                             | -325 ± 234                             | -411 ± 227                             | 1000 ± 469                             |
|              | Post | 251 ± 215                             | 445 ± 227†                            | 891 ± 276                              | -678 ± 486                             | -276 ± 181                             | 1027 ± 506                             |
|              | Δ %  | 14.1 ± 81.8                           | 58.6 ± 56.5                           | -31.4 ± 61.6                           | 47.1 ± 46.9                            | -95.8 ± 156.4                          | -9.8 ± 61.9                            |

Va = velocidad angular; L = extremidad libre; A = extremidad de apoyo; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test. +ve = extensión; -ve = flexión.

Por último, se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la velocidad angular de la cadera de la extremidad de apoyo del  $58.6 \pm 56.5\%$  en el grupo control en el instante  $T_{off}$  (Figura 55). En el grupo experimental no se han producido modificaciones estadísticamente significativas en la velocidad angular del tren inferior.



**Figura 55.** Velocidad angular ( $^{\circ}\cdot s^{-1}$ ) de la cadera de la extremidad de apoyo en el grupo experimental (GE) y en el grupo control (GC) en el instante  $T_{off}$ . † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

## 5.2. VARIABLES CINÉTICAS Y MECÁNICO MÚSCULO-ARTICULARES

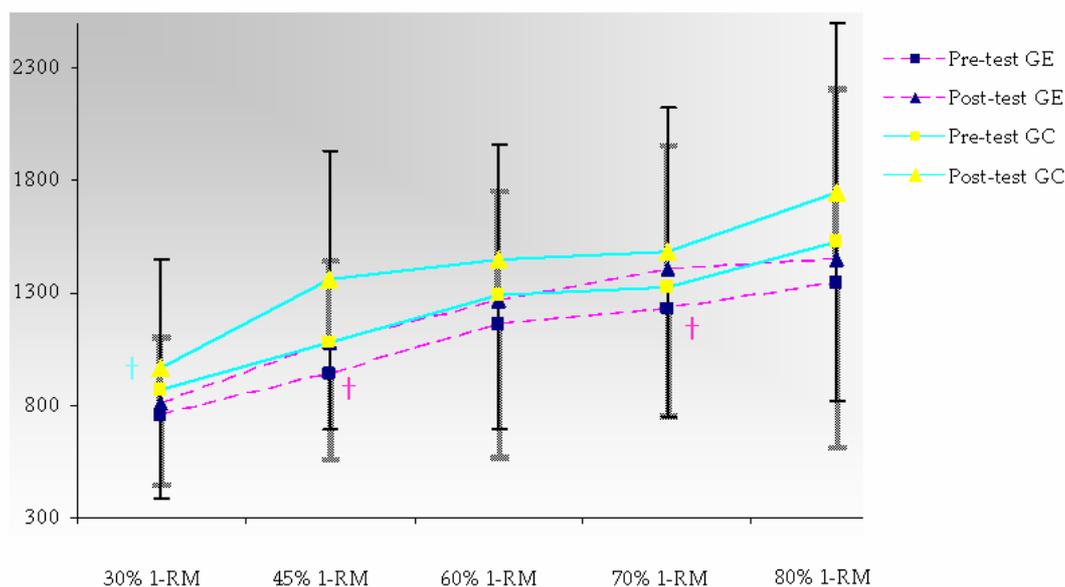
En la Tabla 52 se pueden observar las variables cinéticas de potencia mecánica pico de la fase concéntrica en media sentadilla con el 30%, 45%, 60%, 70% y 80% de 1-RM, así como la FDM para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 52.** Fuerza dinámica máxima y potencia mecánica desarrollada en la fase concéntrica en media sentadilla al 30%, 45%, 60%, 70% y 80% de 1-RM.

|              |      | $P_{30\%}$<br>(W) | $P_{45\%}$<br>(W) | $P_{60\%}$<br>(W) | $P_{70\%}$<br>(W) | $P_{80\%}$<br>(W) | 1-RM<br>(kgf) |
|--------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|---------------|
| Experimental | Pre  | 755 ± 318         | 937 ± 382         | 1155 ± 589        | 1232 ± 486        | 1345 ± 739        | 133 ± 37      |
|              | Post | 807 ± 292         | 1082 ± 358†       | 1266 ± 481        | 1400 ± 550†       | 1448 ± 755        | 161 ± 37†     |
|              | Δ %  | 6.4 ± 16.7        | 15.7 ± 11.5       | 11.7 ± 13.5       | 11.9 ± 6.2        | 5.4 ± 14.2        | 18.4 ± 5.2    |
| Control      | Pre  | 873 ± 486         | 1077 ± 382        | 1289 ± 595        | 1327 ± 582        | 1527 ± 713        | 142 ± 26      |
|              | Post | 966 ± 482†        | 1361 ± 566        | 1445 ± 513        | 1486 ± 634        | 1750 ± 745        | 172 ± 34†     |
|              | Δ %  | 11.4 ± 5.3        | 19.6 ± 4.7        | 13.2 ± 15.8       | 11.1 ± 17.4       | 13.6 ± 3.9        | 17.4 ± 7.2    |

$P$  = potencia; 1-RM = 1 repetición máxima.  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

Se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la potencia pico desarrollada al 45% y 70% de 1-RM en media sentadilla del grupo experimental, del  $15.7 \pm 11.5\%$  y  $11.9 \pm 6.2\%$ , respectivamente. En el grupo control se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la potencia al 30% de 1-RM en media sentadilla del  $11.4 \pm 5.3\%$  (Figura 56). Por otro lado, se han producido mejoras en el 1-RM similares en ambos grupos del  $\sim 17$ -18%.



**Figura 56.** Curva potencia-fuerza para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En la Tabla 53 se pueden observar las variables cinéticas del torque pico de los flexores de cadera a las velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1}$  y  $450^\circ \cdot s^{-1}$  para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %). Se han observado aumentos estadísticamente significativos en el torque pico de los flexores de cadera a las velocidades de  $180^\circ \cdot s^{-1}$  y  $270^\circ \cdot s^{-1}$  en el grupo experimental de  $9.2 \pm 13.9\%$  y  $17.8 \pm 14.9\%$ , respectivamente. En el grupo control se han producido aumentos estadísticamente significativos en todas las velocidades analizadas:  $60^\circ \cdot s^{-1} = 11.2 \pm 10.5\%$ ;  $180^\circ \cdot s^{-1} = 15.4 \pm 6.8\%$ ;  $270^\circ \cdot s^{-1} = 17.7 \pm 17.4\%$ ; y  $450^\circ \cdot s^{-1} = 21.1 \pm 28.4\%$ .

**Tabla 53.** Torque pico de los flexores de cadera a las velocidades de 60°· s<sup>-1</sup>, 180°· s<sup>-1</sup>, 270°· s<sup>-1</sup> y 450°· s<sup>-1</sup> en el pre y post-test.

|              |      | <i>TorqF</i> <sub>60°</sub><br>(N·m) | <i>TorqF</i> <sub>180°</sub><br>(N·m) | <i>TorqF</i> <sub>270°</sub><br>(N·m) | <i>TorqF</i> <sub>450°</sub><br>(N·m) |
|--------------|------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Experimental | Pre  | 161.1 ± 51.6                         | 142.0 ± 47.6                          | 123.6 ± 41.7                          | 72.5 ± 32.6                           |
|              | Post | 158.3 ± 50.3                         | 155.2 ± 43.3†                         | 151.0 ± 43.7†                         | 91.6 ± 27.1                           |
|              | Δ %  | -3.1 ± 19.4                          | 9.2 ± 13.9                            | 17.8 ± 14.9                           | 20.0 ± 29.4                           |
| Control      | Pre  | 158.1 ± 54.2                         | 145.6 ± 39.6                          | 129.6 ± 31.5                          | 73.8 ± 25.2                           |
|              | Post | 177.2 ± 47.9†                        | 174.1 ± 57.5†                         | 164.5 ± 57.6†                         | 101.1 ± 41.7†                         |
|              | Δ %  | 11.2 ± 10.5                          | 15.4 ± 6.8                            | 17.7 ± 17.4                           | 21.1 ± 28.4                           |

*TorqF* = torque pico en la flexión de la cadera; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En la Tabla 54 se pueden observar las variables cinéticas del torque pico de los extensores de cadera a las velocidades de 60°· s<sup>-1</sup>, 180°· s<sup>-1</sup>, 270°· s<sup>-1</sup> y 450°· s<sup>-1</sup> para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media ± SD, diferencias %). No se han observado diferencias estadísticamente significativas en ninguna de las velocidades analizadas y en ninguno de los grupos.

**Tabla 54.** Torque pico de los extensores de cadera a las velocidades de 60°· s<sup>-1</sup>, 180°· s<sup>-1</sup>, 270°· s<sup>-1</sup> y 450°· s<sup>-1</sup> en el pre y post-test.

|              |      | <i>TorqE</i> <sub>60°</sub><br>(N·m) | <i>TorqE</i> <sub>180°</sub><br>(N·m) | <i>TorqE</i> <sub>270°</sub><br>(N·m) | <i>TorqE</i> <sub>450°</sub><br>(N·m) |
|--------------|------|--------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Experimental | Pre  | 121.3 ± 47.1                         | 96.8 ± 53.2                           | 67.3 ± 41.6                           | 21.6 ± 22.8                           |
|              | Post | 129.7 ± 45.2                         | 104.3 ± 43.5                          | 83.4 ± 58.1                           | 26.1 ± 24.7                           |
|              | Δ %  | 6.6 ± 24.8                           | 7.7 ± 26.2                            | -8.42 ± 78.9                          | -159 ± 320                            |
| Control      | Pre  | 128.0 ± 63.6                         | 97.6 ± 45.2                           | 73.7 ± 32.0                           | 24.6 ± 34.6                           |
|              | Post | 138.9 ± 62.4                         | 120.6 ± 63.9                          | 79.0 ± 32.0                           | 34.7 ± 26.1                           |
|              | Δ %  | 7.3 ± 13.5                           | 12.9 ± 32.3                           | 3.4 ± 36.5                            | 2.6 ± 140                             |

*TorqE* = torque pico en la extensión de la cadera; Δ = diferencia.

En la Tabla 55 se pueden observar las variables cinéticas del torque pico relativos al peso corporal de los flexores de cadera a las velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1}$  y  $450^\circ \cdot s^{-1}$  y la FDM relativa al peso corporal para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

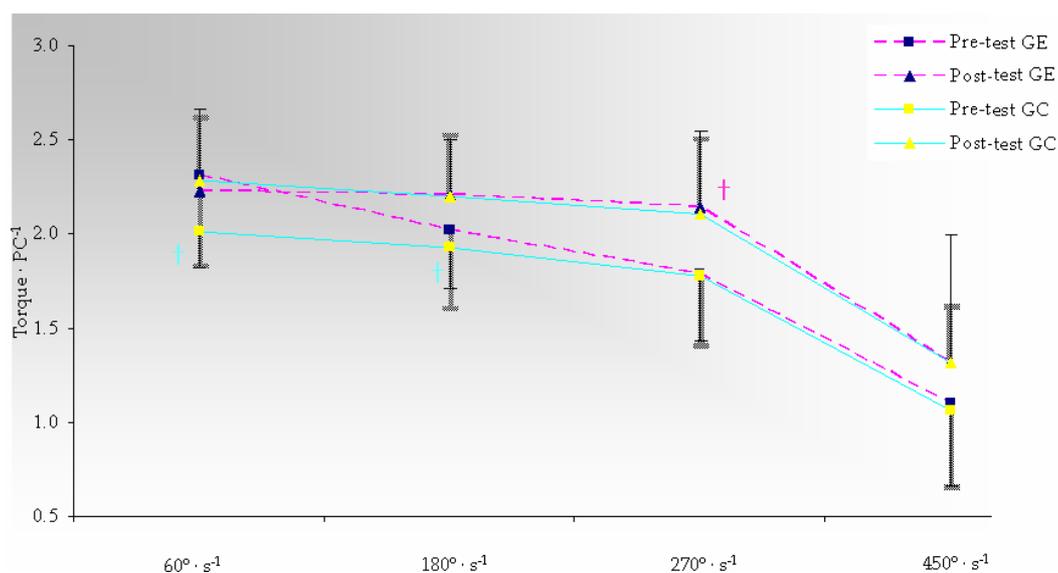
**Tabla 55.** Torque pico relativo al peso corporal de los flexores de cadera a las velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1}$  y  $450^\circ \cdot s^{-1}$  en el pre y post-test.

|              |            | $TorqueF_{pc60^\circ}$<br>(N·m·kg <sup>-1</sup> ) | $TorqueF_{pc180^\circ}$<br>(N·m·kg <sup>-1</sup> ) | $TorqueF_{pc270^\circ}$<br>(N·m·kg <sup>-1</sup> ) | $TorqueF_{pc450^\circ}$<br>(N·m·kg <sup>-1</sup> ) | $1-RM_{pc}$<br>(kgf·kg <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------------|---|--|--|--|--|
| Experimental | Pre        | 2.32 $\pm$ 0.49                                   | 2.02 $\pm$ 0.47                                    | 1.79 $\pm$ 0.39                                    | 1.10 $\pm$ 0.45                                    | 1.92 $\pm$ 0.25                        |
|              | Post       | 2.23 $\pm$ 0.38                                   | 2.21 $\pm$ 0.31†                                   | 2.14 $\pm$ 0.36                                    | 1.32 $\pm$ 0.29                                    | 2.34 $\pm$ 0.30†                       |
|              | $\Delta$ % | -4.7 $\pm$ 21.0                                   | 8.7 $\pm$ 15.0                                     | 16.1 $\pm$ 15.3                                    | 1.1 $\pm$ 0.5                                      | 17.8 $\pm$ 5.5                         |
| Control      | Pre        | 2.02 $\pm$ 0.19                                   | 1.93 $\pm$ 0.22                                    | 1.77 $\pm$ 0.35                                    | 1.07 $\pm$ 0.41                                    | 1.92 $\pm$ 0.40                        |
|              | Post       | 2.28 $\pm$ 0.37†                                  | 2.20 $\pm$ 0.30†                                   | 2.11 $\pm$ 0.44                                    | 1.32 $\pm$ 0.67                                    | 2.34 $\pm$ 0.48†                       |
|              | $\Delta$ % | 10.5 $\pm$ 9.1                                    | 11.9 $\pm$ 6.7                                     | 14.4 $\pm$ 16.5                                    | 1.1 $\pm$ 0.4                                      | 17.9 $\pm$ 7.2                         |

$TorqueF$  = torque pico en la flexión de la cadera; pc = peso corporal;  $1-RM$  = 1 repetición máxima;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En el grupo experimental se produjeron aumentos estadísticamente significativos en el torque pico relativo al peso corporal en flexión a la velocidad de  $180^\circ \cdot s^{-1}$  del 8.7%. Mientras que en el grupo control se produjeron aumentos estadísticamente significativos en el torque pico relativo al peso corporal en flexión a las velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$  y  $180^\circ \cdot s^{-1}$ , del  $10.5 \pm 9.1\%$  y del  $11.9 \pm 6.7\%$

respectivamente (Figura 57). Los incrementos en el 1-RM relativo al peso corporal son estadísticamente significativos ~18% en ambos grupos.



**Figura 57.** Curva torque-velocidad de los flexores de la cadera relativo al peso corporal (PC) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

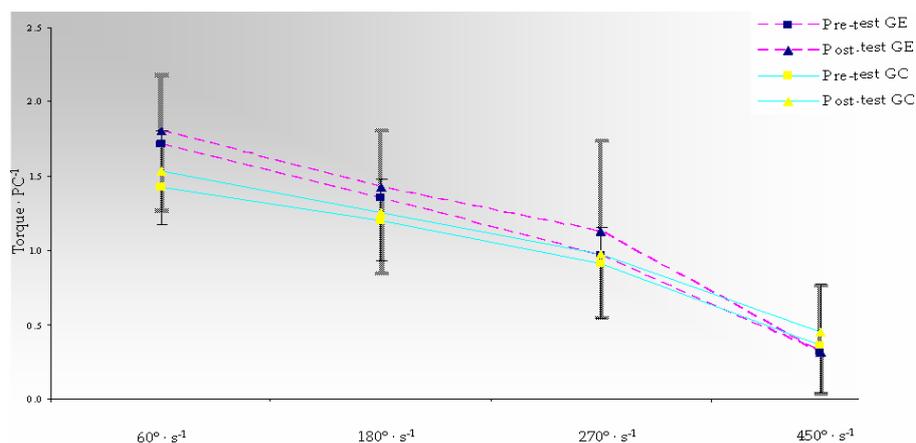
En la Tabla 56 se pueden observar las variables cinéticas del torque pico relativos al peso corporal de los extensores de cadera a las velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1}$  y  $450^\circ \cdot s^{-1}$  para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 56.** Torque pico relativo al peso corporal de los extensores de cadera a las velocidades de  $60^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $180^\circ \cdot s^{-1}$ ,  $270^\circ \cdot s^{-1}$  y  $450^\circ \cdot s^{-1}$  en el pre y post-test.

|              |             | $Torque_{pc60^\circ}$<br>( $N \cdot m \cdot kg^{-1}$ ) | $Torque_{pc180^\circ}$<br>( $N \cdot m \cdot kg^{-1}$ ) | $Torque_{pc270^\circ}$<br>( $N \cdot m \cdot kg^{-1}$ ) | $Torque_{pc450^\circ}$<br>( $N \cdot m \cdot kg^{-1}$ ) |
|--------------|-------------|--|---|---|---|
| Experimental | Pre         | $1.71 \pm 0.45$  | $1.36 \pm 0.52$   | $0.97 \pm 0.42$   | $0.32 \pm 0.29$   |
|              | Post        | $1.81 \pm 0.37$  | $1.43 \pm 0.38$   | $1.13 \pm 0.60$   | $0.32 \pm 0.44$   |
|              | $\Delta \%$ | $4.3 \pm 26.7$   | $4.2 \pm 26.9$  | $-14.9 \pm 83.8$  | $7.1 \pm 5.3$   |
| Control      | Pre         | $1.43 \pm 0.26$  | $1.20 \pm 0.27$   | $0.91 \pm 0.37$   | $0.36 \pm 0.32$   |
|              | Post        | $1.53 \pm 0.28$  | $1.26 \pm 0.22$   | $0.98 \pm 0.18$   | $0.45 \pm 0.33$   |
|              | $\Delta \%$ | $6.0 \pm 12.2$   | $3.0 \pm 26.8$  | $3.9 \pm 44.9$  | $2.0 \pm 3.7$   |

$Torque$  = torque pico en la extensión de la cadera; pc = peso corporal; 1-RM = 1 repetición máxima;  $\Delta$  = diferencia.

No se produjeron diferencias estadísticamente significativas en la curva torque-velocidad de los extensores de la cadera relativos al peso corporal en ninguno de los grupos (Figura 58).



**Figura 58.** Curva torque-velocidad de los extensores de la cadera relativo al peso corporal (PC) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test.

En la Tabla 57 se pueden observar las variables cinéticas de la altura del SJ, SJM, CMJ y DJ; y la variable visco-elástica del índice de elasticidad para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %). No se han producido diferencias estadísticamente significativas para ninguna de estas variables.

**Tabla 57.** Rendimiento (altura) en el SJ, SJM, CMJ, DJ e índice de elasticidad en el pre y el post-test.

|              |            | $SJ_h$<br>(cm)  | $SJM_h$<br>(cm) | $CMJ_h$<br>(cm) | $DJ_h$<br>(cm)  | Índice de<br>Elasticidad |
|--------------|------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|--------------------------|
| Experimental | Pre        | 27.9 $\pm$ 6.1  | 23.7 $\pm$ 3.8  | 32.8 $\pm$ 8.6  | 31.8 $\pm$ 5.8  | 0.23 $\pm$ 0.2           |
|              | Post       | 28.3 $\pm$ 5.9  | 25.5 $\pm$ 9.0  | 33.5 $\pm$ 8.0  | 30.7 $\pm$ 1.9  | 0.24 $\pm$ 0.1           |
|              | $\Delta$ % | 0.5 $\pm$ 13.7  | 1.4 $\pm$ 22.6  | 1.9 $\pm$ 7.1   | -3.8 $\pm$ 16.5 | -12.7 $\pm$ 93.0         |
| Control      | Pre        | 28.1 $\pm$ 5.8  | 20.1 $\pm$ 3.6  | 35.3 $\pm$ 6.7  | 33.5 $\pm$ 3.9  | 0.23 $\pm$ 0.2           |
|              | Post       | 27.9 $\pm$ 5.0  | 24.9 $\pm$ 7.1  | 36.5 $\pm$ 5.8  | 32.3 $\pm$ 3.7  | 0.28 $\pm$ 0.1           |
|              | $\Delta$ % | -1.0 $\pm$ 11.9 | 15.5 $\pm$ 21.8 | 3.8 $\pm$ 5.4   | -4.2 $\pm$ 12.5 | 22.2 $\pm$ 58.0          |

$SJ$  = salto en sentadilla;  $SJM$  = salto en sentadilla modificado;  $CMJ$  = salto en contramovimiento;  $DJ$  = salto en caída;  $h$  = altura del salto; Índice de elasticidad =  $[(CMJ - SJ) \cdot SJ^{-1}] \cdot 100$ ;  $\Delta$  = diferencia.

En la Tabla 58 se pueden observar las variables cinéticas de la altura del SJ, SJM, CMJ y DJ relativas al peso corporal para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 58.** Rendimiento (altura) en el SJ, SJM, CMJ y DJ, relativo al peso corporal en el pre y el post-test.

|              |      | $SJ_{h/pc}$<br>(cm·kgf <sup>-1</sup> ) | $SJM_{h/pc}$<br>(cm·kgf <sup>-1</sup> ) | $CMJ_{h/pc}$<br>(cm·kgf <sup>-1</sup> ) | $DJ_{h/pc}$<br>(cm·kgf <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|--|---|---|--|
| Experimental | Pre  | 0.39 ± 0.07                            | 0.33 ± 0.05                             | 0.46 ± 0.09                             | 0.42 ± 0.04                            |
|              | Post | 0.39 ± 0.04                            | 0.35 ± 0.11                             | 0.47 ± 0.07                             | 0.41 ± 0.06                            |
|              | Δ %  | -0.5 ± 13.7                            | -0.1 ± 23.4                             | 1.2 ± 6.7                               | -5.1 ± 16.8                            |
| Control      | Pre  | 0.43 ± 0.09                            | 0.30 ± 0.02                             | 0.51 ± 0.10                             | 0.50 ± 0.11                            |
|              | Post | 0.41 ± 0.07                            | 0.38 ± 0.11                             | 0.52 ± 0.10                             | 0.46 ± 0.09                            |
|              | Δ %  | -3.5 ± 8.4                             | 16.9 ± 31.3                             | 2.3 ± 5.2                               | -9.3 ± 14.3                            |

$SJ$  = salto en sentadilla;  $SJM$  = salto en sentadilla modificado;  $CMJ$  = salto en contramovimiento;  $DJ$  = salto en caída;  $h$  = altura del salto;  $\Delta$  = diferencia.

En la Tabla 59 se pueden observar las variables cinéticas de la potencia del SJ, SJM, CMJ, ratio entre la altura del DJ y el tiempo de contacto del salto, fuerza máxima aplicada en los 100 ms del SJM, así como la fuerza máxima de reacción con el suelo modelada en la fase de máxima velocidad de la carrera para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media ± SD, diferencias %).

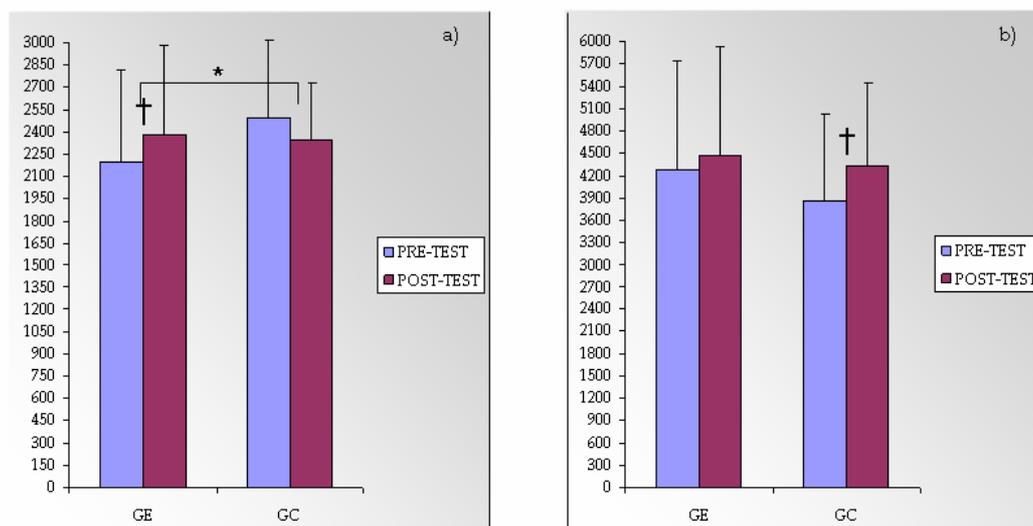
**Tabla 59.** Potencia del SJ, SJM, CMJ, ratio entre la altura del DJ y el tiempo de contacto del salto, fuerza máxima aplicada en los 100 ms del SJM, así como la fuerza máxima de reacción con el suelo modelada en la fase de máxima velocidad de la carrera en el pre y post-test.

|              |      | $SJ_{pow}$<br>(W) | $SJM_{pow}$<br>(W) | $CMJ_{pow}$<br>(W) | $DJ_{index}$<br>(m·s <sup>-1</sup> ) | $F_{100ms}$<br>(N) | $MGRF_{max}$<br>(kN) |
|--------------|------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------------|
| Experimental | Pre  | 4025 ± 1291       | 4275 ± 1459        | 4219 ± 1447        | 188 ± 93                             | 2194 ± 620         | 2.42 ± 0.4           |
|              | Post | 4054 ± 1315       | 4461 ± 1473        | 4461 ± 1473        | 172 ± 67                             | 2385 ± 599†        | 2.48 ± 0.4           |
|              | Δ %  | 0.6 ± 6.5         | 4.0 ± 8.3          | 1.1 ± 7.7          | -10.1 ± 30.2                         | 8.5 ± 3.2          | 2.2 ± 5.9            |

|         |      |             |              |             |             |             |            |
|---------|------|-------------|--------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| Control | Pre  | 4150 ± 916  | 3864 ± 1163  | 4163 ± 1179 | 159 ± 37    | 2493 ± 526  | 2.15 ± 0.4 |
|         | Post | 4132 ± 1125 | 4326 ± 1117† | 4271 ± 1027 | 160 ± 34    | 2350 ± 380  | 2.21 ± 0.4 |
|         | Δ %  | -2.0 ± 9.9  | 11.2 ± 7.9   | 3.2 ± 6.7   | -3.6 ± 25.1 | -5.5 ± 9.1* | 2.8 ± 4.7  |

*SJ* = salto en sentadilla; *SJM* = salto en sentadilla modificado; *CMJ* = salto en contramovimiento; *DJ* = salto en caída; *pow* = potencia; *index* = índice; *MGRF<sub>max</sub>* = fuerza máxima de reacción del suelo modelada en la fase de máxima velocidad de la carrera; Δ = diferencia. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test; \* = diferencias estadísticamente significativas en las variaciones entre el pre y el post-test de los grupos.

En el grupo experimental se produjeron aumentos estadísticamente significativos en la fuerza máxima aplicada en los 100 ms del SJM del  $8.5 \pm 3.2\%$ . Mientras que en el grupo control se han producido aumentos estadísticamente significativos en la potencia máxima al realizar el SJM del  $11.2 \pm 7.9\%$ . Además, se produjeron diferencias estadísticamente significativas al comparar las variaciones producidas tras el entrenamiento en los grupos en la fuerza máxima aplicada en los 100 ms del SJM, a favor del grupo experimental (Figura 59).



**Figura 59.** a) Fuerza máxima aplicada en los 100 ms (N) y b) potencia pico del SJM (W) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test; \* = diferencias estadísticamente significativas en las variaciones entre el pre y el post-test de los grupos.

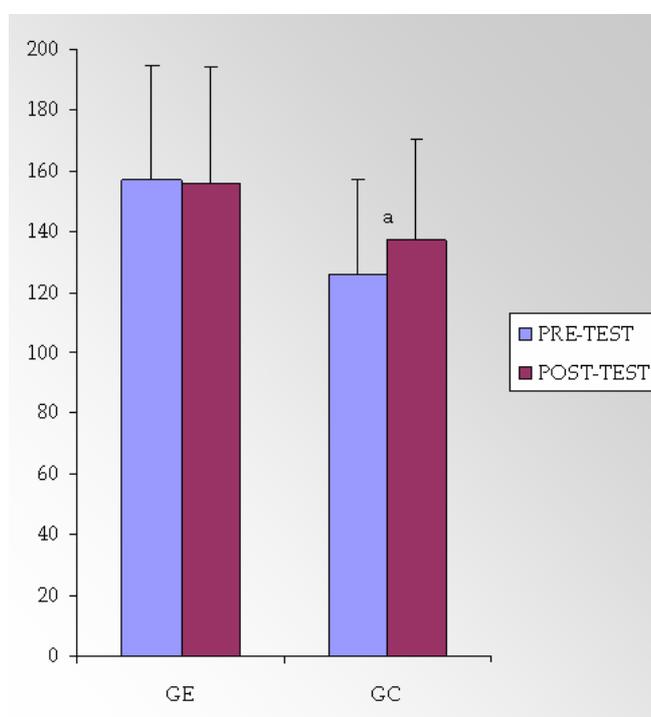
En la Tabla 60 se pueden observar las variables cinéticas de la potencia del SJ, SJM, CMJ, la fuerza pico aplicada a los 100 ms desde el comienzo de un SJM, todo ello relativo al peso corporal; y las variables mecánicas de rigidez de la extremidad y vertical en la fase de máxima velocidad de la carrera para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 60.** Potencia del SJ, SJM, CMJ, la fuerza pico aplicada a los 100 ms desde el comienzo de un SJM, todo ello relativo al peso corporal; y las variables mecánicas de rigidez de la extremidad y vertical en el pre y post-test.

|              |      | $SJ_{\text{pow/pc}}$<br>(W·kgf <sup>-1</sup> ) | $SJM_{\text{pow/pc}}$<br>(W·kgf <sup>-1</sup> ) | $CMJ_{\text{pow/pc}}$<br>(W·kgf <sup>-1</sup> ) | $F_{100\text{ ms/pc}}$<br>(N·kgf <sup>-1</sup> ) | $K_{\text{extremidad}}$<br>(kN·m <sup>-1</sup> ) | $K_{\text{vertical}}$<br>(kN·m <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------|--|---|---|--|--|--|
| Experimental | Pre  | 55.0 ± 7.6                                     | 58.5 ± 7.1                                      | 57.3 ± 8.0                                      | 31.5 ± 0.9                                       | 13.4 ± 3.1                                       | 156.9 ± 37.9                                   |
|              | Post | 55.0 ± 7.8                                     | 60.6 ± 10.0                                     | 57.6 ± 8.1                                      | 33.9 ± 0.7†                                      | 13.2 ± 3.2                                       | 155.8 ± 38.2                                   |
|              | Δ %  | -0.1 ± 6.0                                     | 2.8 ± 8.6                                       | 0.2 ± 7.7                                       | 7.0 ± 2.7  | -2.1 ± 13.9                                      | -1.8 ± 16.4                                    |
| Control      | Pre  | 54.5 ± 3.4                                     | 51.8 ± 7.2                                      | 52.3 ± 6.3                                      | 32.6 ± 0.8                                       | 10.7 ± 2.8                                       | 125.6 ± 31.6                                   |
|              | Post | 51.8 ± 7.7                                     | 58.6 ± 7.4                                      | 54.0 ± 7.3                                      | 30.9 ± 3.8                                       | 11.4 ± 3.0                                       | 136.9 ± 33.5 <sup>a</sup>                      |
|              | Δ %  | -6.5 ± 13.5                                    | 11.2 ± 10.5                                     | 2.7 ± 9.3                                       | -6.6 ± 12.1                                      | 5.2 ± 14.4                                       | 8.0 ± 9.4                                      |

$SJ$  = salto en sentadilla;  $SJM$  = salto en sentadilla modificado;  $CMJ$  = salto en contramovimiento;  $F$  = fuerza;  $K$  = rigidez;  $\text{pow}$  = potencia;  $\text{pc}$  = peso corporal;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test; <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.081$ ).

En el grupo experimental se produjeron diferencias estadísticamente significativas en la fuerza pico aplicada a los 100 ms desde el comienzo de un SJM relativas al peso corporal del  $7.0 \pm 2.7\%$ . En el grupo control se ha producido una tendencia a la significación ( $p = 0.081$ ) en la rigidez vertical del  $8.0 \pm 9.4\%$  (Figura 60).



**Figura 60.** Rigidez vertical ( $\text{kN}\cdot\text{m}^{-1}$ ) en la carrera a máxima velocidad para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. <sup>a</sup> = tendencia a la significación estadística ( $p = 0.081$ ).

### 5.3. VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS

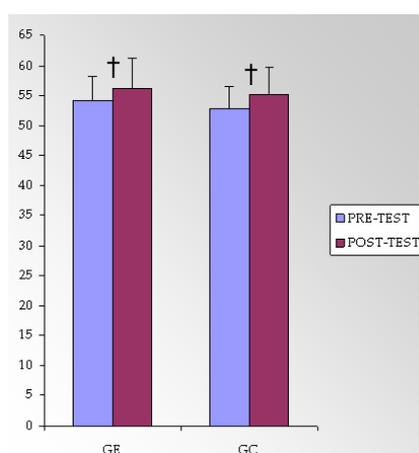
En la Tabla 61 se pueden observar las variables antropométricas del peso corporal, pliegue del muslo, pliegue de la pierna, perímetro del muslo y perímetro de la pierna para el grupo experimental y para el grupo control, tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 61.** Peso corporal, pliegue del muslo, pliegue de la pierna, perímetro del muslo y perímetro de la pierna en el pre-test y post-test.

|              |      | Peso<br>(kgf) | <i>PL</i> muslo<br>(mm) | <i>PL</i> pierna<br>(mm) | <i>PE</i> muslo<br>(cm) | <i>PE</i> pierna<br>(cm) |
|--------------|------|---------------|-------------------------|--------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Experimental | Pre  | 69.8 ± 14.7   | 16.4 ± 6.0              | 9.0 ± 3.6                | 54.1 ± 4.2              | 39.0 ± 3.1               |
|              | Post | 70.5 ± 14.8†  | 16.7 ± 7.0              | 9.0 ± 3.9                | 56.2 ± 5.1†             | 38.5 ± 3.3               |
|              | Δ %  | 0.9 ± 1.2     | -0.3 ± 12.0             | -0.1 ± 14.0              | 3.7 ± 5.3               | -1.4 ± 3.6               |
| Control      | Pre  | 69.3 ± 11.8   | 13.4 ± 4.6              | 8.8 ± 2.5                | 52.7 ± 3.8              | 38.3 ± 3.3               |
|              | Post | 70.3 ± 11.6†  | 13.0 ± 4.5              | 8.5 ± 1.7                | 55.2 ± 4.5†             | 38.2 ± 3.0               |
|              | Δ %  | 1.6 ± 1.2     | -3.3 ± 9.0              | -2.7 ± 12.5              | 4.4 ± 1.8               | -0.2 ± 2.4               |

*PL* = pliegue; *PE* = perímetro; Δ = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

Se han producido incrementos estadísticamente significativos de la masa corporal en ambos grupos del  $0.9 \pm 1.2\%$  y  $1.6 \pm 1.2\%$ , en el grupo experimental y control, respectivamente. Además, se han encontrado incrementos estadísticamente significativos en el perímetro del muslo del  $3.7 \pm 5.3\%$  y del  $4.4 \pm 1.8\%$  en el grupo experimental y control, respectivamente (Figura 61).



**Figura 61.** Perímetro del muslo (cm) para el grupo experimental (GE) y el grupo control (GC) en el pre y post-test. † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.

En la Tabla 62 se pueden observar las variables antropométricas de la masa grasa, masa magra, endomorfia, mesomorfia y ectomorfia de la pierna para el grupo experimental y para el grupo control tanto en el pre-test como en el post-test (Media  $\pm$  SD, diferencias %).

**Tabla 62.** Masa grasa, masa magra, endomorfia, mesomorfia y ectomorfia en el pre-test y post-test.

|              |            | MG<br>(%)      | MM<br>(%)      | Endo<br>(puntos) | Meso<br>(puntos) | Ecto<br>(puntos) |
|--------------|------------|----------------|----------------|------------------|------------------|------------------|
| Experimental | Pre        | 12.9 $\pm$ 2.0 | 47.1 $\pm$ 1.9 | 3.2 $\pm$ 0.7    | 4.9 $\pm$ 1.3    | 2.4 $\pm$ 0.6    |
|              | Post       | 13.2 $\pm$ 1.8 | 46.4 $\pm$ 1.1 | 3.3 $\pm$ 0.8    | 5.1 $\pm$ 1.4    | 2.3 $\pm$ 0.6†   |
|              | $\Delta$ % | 1.9 $\pm$ 6.9  | -1.4 $\pm$ 3.5 | 3.1 $\pm$ 9.2    | 3.0 $\pm$ 8.2    | -4.4 $\pm$ 4.8   |
| Control      | Pre        | 12.1 $\pm$ 1.6 | 46.9 $\pm$ 1.8 | 2.8 $\pm$ 0.7    | 4.5 $\pm$ 1.1    | 3.2 $\pm$ 0.8    |
|              | Post       | 12.1 $\pm$ 1.8 | 46.5 $\pm$ 0.6 | 2.9 $\pm$ 0.9    | 4.9 $\pm$ 1.1    | 3.0 $\pm$ 0.7†   |
|              | $\Delta$ % | -0.6 $\pm$ 6.0 | -0.8 $\pm$ 3.4 | 0.6 $\pm$ 18.1   | 6.9 $\pm$ 6.5    | -6.5 $\pm$ 3.8   |

MG = masa grasa; MM = masa muscular; Endo = endomorfia; Meso = mesomorfia; Ecto = ectomorfia;  $\Delta$  = diferencia; † = diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05$ ) entre el pre y el post-test.





---

## 6. DISCUSIÓN



## DISCUSIÓN

A continuación se presenta la discusión del trabajo. Ésta se ha dividido según los objetivos generales marcados, a partir de los mismos se ha realizado la discusión de los hallazgos más significativos. Los objetivos, básicamente, son: conocer el efecto del entrenamiento de cuatro semanas con arrastres de trineo sobre la cinemática, la cinética, la mecánica músculo-articular y distintas variables antropométricas.

### 6.1. VARIABLES CINEMÁTICAS

#### 6.1.1. **Tiempos y velocidades medias para las distintas fases**

Uno de los objetivos principales del estudio fue observar si el entrenamiento con arrastres de trineo (GE) mejora el tiempo (rendimiento), y como consecuencia la velocidad, en la fase de aceleración y en la fase de máxima velocidad. De ahí que uno de los hallazgos más importantes fue que los sujetos del grupo control (GC) mejoraron el tiempo y la velocidad en la fase de máxima velocidad y los sujetos del GE mejoraron en la fase de aceleración (fase de transición).

En la fase de aceleración inicial (0-15 m), tanto el GE como el GC, empeoraron de forma no significativa los tiempos (1.7% y 0.9%, respectivamente). La posible causa de estos resultados reside en que los deportistas realizaron en la

fase de estandarización trabajo de salida de tacos. Este hecho pudo ayudar a mejorar la técnica de salida en esta fase, además de incrementar la fuerza específica en este gesto. Todo ello pudo llevar a los deportistas a incrementar el rendimiento en las primeras zancadas, tras la salida de tacos, hecho que se vio reflejado en una mejora del rendimiento en la fase de aceleración inicial en el pre-test. Durante las cuatro semanas que duró la fase experimental, no se llevó a cabo trabajo de salida de tacos, hecho que pudo influir en un empeoramiento de la técnica de salida de tacos, la fuerza específica y por último el rendimiento en el post-test.

Ambos grupos, sin embargo, mejoraron el tiempo y la velocidad en la fase de transición (15-30 m), siendo las mejoras para el GE significativas ( $2.4 \pm 2.9\%$ ). Las posibles causas de esta mejora significativa en el GE son que el entrenamiento combinado de fuerza máxima, arrastres y saltos puede producir cambios en algunos de los factores determinantes en el sprint (aumento de la FDM y de la potencia). Estas modificaciones se podrían ver reflejadas en ligeras modificaciones cinemáticas en la fase de aceleración, como es el aumento de los tiempos de contacto y de la inclinación del tronco.

Con relación a la fase de máxima velocidad, ambos grupos redujeron los tiempos. El GE los redujo un 1.3% y el GC los redujo un 1.8%, siendo este último dato estadísticamente significativo. El GE mejora el rendimiento en esta fase posiblemente por el aumento en la amplitud de zancada, mientras que el GC lo

mejora, probablemente, por una disminución de los tiempos de contacto. De nuevo, las causas que producen estos efectos son la combinación de entrenamiento de fuerza máxima con entrenamiento específico de fuerza en el GE y específico de velocidad en el GC.

Los resultados hallados difieren de los encontrados por Zafeiridis et al. (12). Estos autores encontraron que el grupo de arrastres (GE) mejoró la velocidad de carrera en los tramos 0-10 m y 0-20 m, mientras que en el grupo tradicional (GC) la velocidad en estos tramos permaneció sin cambios significativos ( $p > 0.05$ ). Sin embargo, el GE no consiguió mejorar la velocidad de carrera en la fase de máxima velocidad, mientras que el GC mejoró la velocidad media en los tramos 20-40 m, 40-50 m y 20-50 m ( $p < 0.05$ ). Estos últimos resultados están en consonancia con otros estudios que han observado que el entrenamiento tradicional de sprint durante 6 semanas produce mejoras significativas en la fase de máxima velocidad (40 m), mientras que no se producen mejoras en la fase de aceleración (10 m) (66, 69, 354). De cualquier manera, no todos los estudios revisados, que usan entrenamiento tradicional de velocidad, hallan mejoras en el rendimiento de carrera. En el estudio de Blazeovich et al. (315) se aplicó un entrenamiento tradicional combinado de fuerza y velocidad durante siete semanas con deportistas de nivel nacional. En este trabajo no se hallaron diferencias significativas entre el pre-test y post-test en la fase de aceleración y de máxima velocidad. La diferencia de este estudio con los anteriores está en el nivel de los sujetos (atletas vs. estudiantes).

Las posibles causas de las diferencias halladas entre los estudios de entrenamiento con arrastre con las del presente estudio son: a) los deportistas que llevaron a cabo el estudio planteado por Zafeiridis et al. (12) eran estudiantes de educación física, así las adaptaciones a nivel neuromuscular son diferentes cuando se utilizan sujetos poco entrenados con respecto a deportistas entrenados (53); b) por otro lado, la carga utilizada en el estudio de Zafeiridis et al. (12) fue la misma para todos los sujetos (5 kg). Sin embargo, en el presente trabajo se utilizó una carga relativa a las características individuales del deportista. Esta carga producía un descenso de la máxima velocidad de los deportistas del 7.5%, con el fin de trabajar de forma específica en la fase de máxima velocidad. Probablemente, la carga interna impuesta a los sujetos del estudio de Zafeiridis et al. (12) fuera muy elevada, ya que 5 kg, para sujetos poco entrenados puede producir una pérdida de la velocidad superior al 10% de la máxima. Según la bibliografía existente sobre el tema, no se debe perder más del 10% de la máxima velocidad con el fin de no modificar excesivamente la técnica de carrera (37, 48, 49). Este aspecto no se controló en el estudio de Zafeiridis et al. (12).

Por otro lado, Spinks et al. (54) demostraron que el entrenamiento con arrastres de trineo con una carga que producía una pérdida del 10% de la máxima velocidad, durante 8 semanas, en jugadores de deportes de equipo, mejoraba la velocidad horizontal en la fase de aceleración (15 m) un 7.8%. Sin embargo, encontraron que no era más efectivo que un entrenamiento similar de velocidad

sin arrastres, que mejoró un 6.2% la velocidad horizontal (54). Las mejoras, según los autores, se deben a una combinación de entrenamiento pliométrico con entrenamiento de velocidad, replicando las características dinámicas del sprint (54). Las diferencias con el presente estudio se producen, probablemente, por los siguientes factores: a) la carga fue superior a la utilizada en el presente estudio, este hecho hace que las adaptaciones se produzcan, principalmente, en la fase de aceleración inicial (0-15 m); b) no se explica si los deportistas habían utilizado arrastres de trineo en temporadas anteriores, por lo tanto, y en caso de que no los hayan usado, las adaptaciones serán mucho menos específicas que con atletas entrenados; y c) tampoco se explica si los deportistas realizaban habitualmente entrenamiento de sprints. En caso negativo, la aplicación de un entrenamiento de sprints debe producir altos niveles de mejora, ya que la adaptación a esta cualidad de los atletas no debe ser muy alta.

En el estudio de Kristensen, van den Tillar y Ettema (16) los resultados encontrados son similares a los del presente estudio, y son contradictorios a los mostrados por Zafeiridis et al. (12) y Spinks et al. (54). El grupo resistido formado por estudiantes de Ciencias del Deporte no mejoró la velocidad de carrera sobre 20 m, incluso empeoró de forma no significativa (1.6%). Este grupo realizó un entrenamiento de 6 semanas, 3 sesiones por semana, con una resistencia horizontal (a través de poleas) que producía una disminución en el tiempo de carrera del 8.5%. Tal y como se puede apreciar, la carga interna impuesta es muy similar a la utilizada por el GE del presente estudio (7.5% de pérdida), de ahí la

similitud de los resultados. Este estudio presenta dos limitaciones importantes, por un lado, no midieron los efectos sobre el rendimiento en la fase de máxima velocidad, y por otro lado, este estudio no se realizó con velocistas experimentados, aunque sí eran sujetos entrenados en deportes de equipo.

A partir de los resultados hallados se puede resumir lo siguiente: 1) se debe trabajar de forma específica para mejorar un gesto concreto (salida de tacos) o una cualidad (sprint); 2) el entrenamiento resistido a corto plazo parece influir más en aspectos relacionados con el rendimiento en la fase de transición, mientras que el entrenamiento del GC parece incidir más en aspectos determinantes en la fase de máxima velocidad; 3) la carga externa impuesta por el arrastre parece determinar las adaptaciones específicas en una fase o en otra; 4) existen indicios de que con los arrastres se pueden desarrollar aspectos importantes relacionados con: la fase de aceleración inicial (con cargas que produzcan una pérdida de ~ 10% de la máxima velocidad), la fase de transición (con cargas de ~ 7.5% de la máxima velocidad) y la fase de máxima velocidad (probablemente con cargas  $\leq$  5% de la máxima velocidad); y 5) se debe considerar el nivel de rendimiento y la historia deportiva, de los deportistas a los que se aplica el entrenamiento, ya que éste va a influir en la dirección de las adaptaciones.

#### 6.1.2. Velocidad instantánea máxima del COM

La velocidad máxima de carrera es una de las variables determinantes para predecir el éxito en los sprint (21, 122, 355). De ahí que uno de los objetivos del presente estudio fue el de observar si se producían mejoras en la máxima velocidad de carrera tanto en el GE como en el GC. Los estudios revisados, en los que se aplican entrenamientos de velocidad, se han centrado en remarcar los efectos sobre los tiempos conseguidos en las distintas fases, y en consecuencia la velocidad media por tramos. Sin embargo, no se ha encontrado ningún estudio en el que se haya medido la mejora de la máxima velocidad instantánea tras aplicar un entrenamiento de velocidad.

Los resultados encontrados en el presente estudio muestran que ninguno de los dos entrenamientos aplicados durante 4 semanas mejora de forma significativa la máxima velocidad instantánea de carrera. El GC mejoró, aunque de forma no significativa su máxima velocidad un 0.6% (pre-test =  $9.33 \pm 0.63 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  vs. post-test =  $9.38 \pm 0.58 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), mientras que el GE la mantuvo constante. La posible explicación de estos hallazgos es que la carga interna utilizada en el presente estudio para el GE fue muy elevada (7.5% de pérdida de la máxima velocidad) y de esta forma no se produjo el estímulo mínimo necesario para producir una adaptación sobre los factores determinantes en la máxima velocidad de carrera. Sin embargo, el entrenamiento del GC tampoco mejoró la velocidad máxima instantánea. Tal y como se puede observar en la Figura 14 (pág. 126) la velocidad máxima de carrera depende de muchos aspectos de carácter biomecánico, neural, antropométrico, metabólico, etc. (91). Probablemente, para

su mejora, se tienen que producir adaptaciones en la mayor parte de estos factores como consecuencia de un entrenamiento a medio/largo plazo.

### 6.1.3. Tiempos con arrastres para las distintas fases

El entrenamiento resistido se utiliza con el objetivo de mejorar la fuerza específica de los deportistas (25, 26, 28). Por ello, y con el fin de verificar el principio de especificidad, se realizó un test resistido para comprobar si se cumplía este principio en el GE del estudio planteado. El test consistió, básicamente, en la realización de sprints (50 m, divididos en fases) con arrastres que producían una disminución de la máxima velocidad del 6.3%.

Los resultados encontrados demuestran que el principio de especificidad se cumple en el presente estudio. Se ha observado que el GE mejoró, aunque no de forma significativa, el tiempo en la fase de máxima velocidad un 6.6%. El GC empeoró un 2.2%, durante la misma fase. Además, esta disminución del rendimiento sí fue significativa. Por lo tanto se demuestra que cada grupo mejora en el test que simula sus mismas condiciones de entrenamiento. Mientras que el GE aumentó el rendimiento en el test similar al entrenamiento llevado a cabo, el GC lo hizo en el mismo test, para la misma fase, pero sin carga (2.0%). Las causas de estas mejoras en las distintas fases son debidas a la similitud existente entre los test llevados a cabo con los entrenamientos planteados (*principio de especificidad*), ya que cuando se aplica un entrenamiento concreto para la mejora de cualquier

cualidad física, las mejoras se producen principalmente en aspectos relacionados con las características del entrenamiento realizado (91).

Kristensen et al. (16) encontraron resultados similares cuando aplicaron distintos entrenamientos para la mejora en la fase de aceleración. McBride et al. (264) llegaron a los mismos hallazgos con un entrenamiento de fuerza máxima para el tren inferior. Delecluse et al. (27) concluyó, de forma similar que, en velocistas, un entrenamiento de fuerza a alta velocidad mejora más el rendimiento que un entrenamiento de fuerza máxima a baja velocidad.

Los resultados del presente estudio y los mostrados por las investigaciones mencionadas pueden llevar a la conclusión de que para mejorar en los sprints hay que entrenar sólo sprints. Esta afirmación se puede considerar con el entrenamiento a corto plazo, como es el caso de la investigación llevada a cabo, sin embargo, se ha observado que un entrenamiento prolongado de una misma cualidad puede producir sobre-entrenamiento, lesiones, etc. (222). De ahí que en el entrenamiento a medio/largo plazo del sprint se combinen métodos de entrenamiento general, específico y competitivo a lo largo de la temporada (19).

#### **6.1.4. Desplazamientos lineales, angulares y variables temporales**

Se cree que uno de los posibles perjuicios a corto, medio y largo plazo, al utilizar métodos resistidos, es la modificación permanente de la cinemática al

dejar de usar los mismos (12, 16, 54). Por lo tanto, otro de los objetivos importantes marcados en el presente trabajo fue el de conocer el efecto del entrenamiento de 4 semanas con arrastres de trineo sobre distintas variables cinemáticas en el sprint, en la fase de aceleración y en la fase de máxima velocidad en atletas entrenados.

#### 6.1.4.1. Fase de aceleración

##### *Variables de la zancada*

Respecto a las variables de la zancada del sprint analizadas (amplitudes, frecuencias, distancias de aterrizaje y tiempos de contacto), para la fase de aceleración (tomadas entre el apoyo 2-3 y 3-4; Figura 19, pág. 218), no se han encontrado diferencias estadísticamente significativas entre el pre y el post-test, aunque se ha observado una tendencia a la significación en el aumento de los tiempos de contacto ( $p = 0.088$ ) en el GE y en el aumento de la frecuencia de zancada ( $p = 0.070$ ) en el GC. En el GE, estos hallazgos se pueden haber producido por el aumento de la inclinación del tronco ( $p \leq 0.05$ ). Una mayor inclinación del tronco en la fase de aceleración aumenta la distancia de aterrizaje, modificando la distancia de la fase de apoyo, y como consecuencia incrementa los tiempos de contacto (113). El incremento de los tiempos de contacto incide en la posibilidad de conseguir una mayor amplitud de zancada por un aumento del tiempo disponible para aplicar fuerza (113). Sin embargo, la amplitud de zancada

posiblemente no aumentó por la reducción de la velocidad durante esta fase. Este hecho produce una ligera reducción en el rendimiento en la primera fase, sin embargo, aumenta el rendimiento en las siguientes fases, por un aumento de la aceleración total. Estas últimas fases son las que correlacionan positivamente con el rendimiento final en los 100 m.l. (355). En el GC, el incremento de la frecuencia de zancada se pudo producir por el aumento estadísticamente significativo de la velocidad angular de la rodilla de la extremidad libre. Un incremento de la velocidad angular de la extremidad libre va a permitir acortar el tiempo de ciclo y como consecuencia se producirá un aumento de la frecuencia de zancada. Una mejora de la frecuencia de zancada permite mejorar el rendimiento a corto plazo en el sprint (147, 356), este hecho se confirma al observar las mejoras estadísticamente significativas producidas en el rendimiento en este grupo de deportistas en la fase de máxima velocidad. La falta de modificaciones en estas variables se puede justificar por la probable falta de especificidad de estos entrenamientos con la fase de aceleración, ya que éstos están enfocados al trabajo de la fase de máxima velocidad del sprint.

Al comparar los resultados con los hallados en la escasa bibliografía encontrada en relación al efecto sobre las variables de la zancada de los entrenamientos a corto y medio plazo, tanto resistido como tradicional, se observan discrepancias entre los mismos. El estudio de Zafeiridis et al. (12) muestra que el grupo con arrastres (GE) mejoró de forma significativa la frecuencia de zancada, mientras que el grupo tradicional (GC) no mejoró ninguna

variable en la fase de aceleración. Como se puede apreciar son totalmente antagonistas a los hallados en el presente trabajo. Las explicaciones que dan los autores al respecto son que el GE mejoró la frecuencia de zancada a consecuencia de un aumento en la inclinación del tronco tras el entrenamiento con arrastres. Este incremento en la inclinación del tronco no permitió mejorar la amplitud de zancada, sin embargo, el posible incremento de la fuerza de los extensores de rodilla y cadera se transfirió positivamente hacia un aumento de la frecuencia de zancada (12). Por otro lado, Kristensen et al. (16) encontraron disminuciones en la amplitud de zancada en todos los grupos de entrenamiento, siendo las reducciones significativas únicamente en el grupo que realizaba entrenamiento normal. Estos datos son también diferentes a los mostrados en el presente trabajo. Según los autores, la justificación de estos resultados está en la falta de experiencia en el entrenamiento del sprint por parte de los atletas que llevaron a cabo ambos estudios. En los estudios que se han desarrollado con deportistas entrenados en sprints, los resultados son semejantes a los del presente estudio. Spinks et al. (54) encontraron que en los primeros apoyos de la fase de aceleración, ni el GE ni el GC mejoran la amplitud ni la frecuencia de zancada, aunque sí redujeron significativamente los tiempos de contacto en los dos grupos. Según los investigadores, la justificación de estas mejoras podría residir en el aumento de la potencia de la extremidad inferior producida en los grupos de entrenamiento.

Los datos del presente estudio, para las variables de la zancada, demuestran que el entrenamiento del GE y del GC no afecta a las mismas en la fase de aceleración. Por lo tanto, se puede usar cuando se quiera desarrollar el rendimiento del sprint sin producir modificaciones sobre las variables de la zancada en la fase de aceleración del sprint.

#### *Variables cinemáticas*

Para las variables cinemáticas en el GE en el apoyo 3, se hallaron disminuciones significativas del 7.4% en el ángulo de la rodilla de la extremidad de apoyo, acompañadas de un aumento estadísticamente significativo del 15.7% del ángulo de inclinación de tronco. Se ha descrito que las inclinaciones excesivas del tronco hacen que el apoyo de la extremidad sea adelantado (128). Por lo tanto, la modificación en el ángulo de la rodilla de la extremidad de apoyo es una consecuencia directa del aumento de la inclinación del tronco en este grupo de entrenamiento. El aumento de la inclinación del tronco puede deberse a una adaptación producida por la modificación de la resistencia total resultante al arrastrar el trineo, esta modificación puede permitir desarrollar una mejor posición para acelerar.

Al comparar el efecto del entrenamiento del GE sobre la inclinación del tronco con los estudios encontrados en la bibliografía se observa que: en todos los estudios revisados en los que se aplica un entrenamiento con arrastres de trineo,

se produce un aumento significativo en la inclinación del tronco en la fase de aceleración. El estudio de Zafeiridis et al. (12) mostró un incremento del 7.4% en el GE, mientras que el trabajo de Spinks et al. (54) describió un aumento estadísticamente significativo en la inclinación del tronco del 58% en el GE y del 37% en el GC.

En el GC, en el instante  $T_{down}$ , se observó un aumento estadísticamente significativo del 21% de la velocidad angular de la rodilla, así como una disminución significativa del 68.9% de la velocidad angular del tobillo, ambas, de la extremidad libre. El aumento de la velocidad angular de la rodilla se pudo producir por el posible aumento de la potencia a una alta velocidad de ejecución del tren inferior (observado en el desarrollo estadísticamente significativo de la potencia al realizar extensiones de rodilla con una carga del 30% de 1-RM). La reducción de la velocidad angular del tobillo, se interpreta como un hecho positivo, ya que ésta se explica como un aumento de la velocidad angular del mismo en flexión. Esta mejora puede ser un reflejo del posible aumento de la rigidez vertical de la extremidad inferior en la fase de aceleración (en el presente estudio sólo se evaluó la rigidez en la fase de máxima velocidad). Ya que la rigidez vertical está muy correlacionada con la rigidez del tobillo (202, 206).

Las velocidades angulares de los presentes deportistas se modifican de forma favorable con el entrenamiento del GC. Spinks et al. (54) observaron que tanto el GE como el GC mejoran la velocidad angular media del ROM de la

rodilla, produciéndose una tendencia a la significación en estas mejoras. Los autores, sin embargo, no presentan una posible explicación de los hallazgos.

Todo ello implica que el entrenamiento del GE produce cambios en la inclinación del tronco, aumenta los tiempos de contacto y disminuye el ángulo de rodilla en el instante  $T_{down}$  en la fase de aceleración. El efecto sobre la inclinación del tronco puede ser beneficioso para aquellos atletas que se incorporen muy rápidamente tras la salida de tacos. También puede ser positivo el aumento de los tiempos de contacto, siempre y cuando se acompañe de un aumento de la amplitud de zancada. Ya que puede producir un incremento de la duración de la fase de aceleración con la posterior reducción de la duración de la fase de deceleración (355). Esta dinámica del ritmo de zancada es la usada por los velocistas de nivel internacional (355). El aumento de los tiempos de contacto, por ejemplo, puede ser beneficioso en la fase de aceleración en aquellos atletas que aceleran muy rápidamente a consecuencia de una frecuencia de zancada alta con una amplitud de zancada reducida. En el GC los cambios producidos en la velocidad angular serán beneficiosos para todos los atletas, ya que va a permitir aumentar la velocidad máxima del deportista por medio de un incremento de la frecuencia de zancada, sin una reducción de la amplitud.

Como resumen destacar que los resultados hallados muestran que cuando se realiza un entrenamiento concreto, las adaptaciones se van a producir sobre el entrenamiento llevado a cabo. El entrenamiento planteado en este estudio se

centró en el trabajo de la fase de máxima velocidad, de ahí que las modificaciones a nivel cinemático en la fase de aceleración sean mínimas. Se debe remarcar, además, la importancia del entrenamiento previo realizado y el nivel de la muestra al llevar a cabo distintos entrenamientos. Tal y como se observa en la disparidad de los resultados de los estudios previos, los efectos pueden ser totalmente contrarios, como ocurre al comparar los datos del estudio de Zafeiridis et al. (12) con los del presente trabajo.

#### 6.1.4.2. Fase de máxima velocidad

##### *Variables de la zancada*

En la fase de máxima velocidad (45 m) se producen, con respecto a las variables de la zancada analizadas, diferencias significativas que pueden beneficiar el rendimiento tanto en el GE como en el GC. Así, en el GE se produce un aumento significativo del 2.7% de la amplitud de zancada. Las causas de las modificaciones en la amplitud de zancada pueden residir en el aumento estadísticamente significativo de la distancia de aterrizaje, que a su vez influye en el aumento de los tiempos de contacto en el GE. Las modificaciones observadas en la postura del atleta en el instante  $T_{\text{down}}$  y  $T_{\text{mid}}$ , para la fase de máxima velocidad, son las que provocan este aumento de la distancia de apoyo. Se observa que el deportista corre en una posición más “sentada”. Este hecho se podría explicar por el aumento estadísticamente significativo de la fuerza de los

flexores de cadera, acompañado de un mantenimiento de la fuerza de los extensores de cadera. Estas modificaciones en el equilibrio de la fuerza de los agonistas/antagonistas de cadera recomendada por Bompa (357) puede producir una ligera descompensación de fuerza a nivel articular provocando la adopción de esta posición “sentada”.

Con respecto a la bibliografía consultada, ésta se ha centrado en el estudio del efecto de los arrastres de trineo sobre la fase de aceleración (12, 16, 54). Únicamente, el estudio de Zafeiridis et al. (12), llevado a cabo con estudiantes de educación física, se ha centrado en el efecto del entrenamiento sobre la fase de máxima velocidad. De nuevo, los resultados encontrados por estos investigadores difieren de los mostrados en el presente estudio, ya que el GE no mejoraba la amplitud de zancada en ninguna de las fases, mientras que el GC mejoraba la amplitud de zancada en la fase de máxima velocidad. Los propios autores (12) no fueron capaces de explicar las causas de estas mejoras, afirmando que la posible explicación de estos hallazgos reside en la falta de experiencia de los deportistas escogidos. En la presente investigación, los sujetos eran atletas con una experiencia de entrenamiento mínima de 8 años, por lo que las adaptaciones fueron las indicadas por la bibliografía divulgativa, es decir, aumentaron su fuerza específica, reflejada en un aumento de la amplitud de zancada.

Este hecho es confirmado por Hakkinen et al. (53) que explica que las adaptaciones neuromusculares pueden ser diferentes cuando se utilizan sujetos

poco entrenados con respecto a deportistas entrenados. Además, se ha demostrado que el aumento en el rendimiento del sprint en deportistas no atletas se produce como resultado de una mejora en la amplitud de zancada y no de la frecuencia de zancada (2, 153). De hecho, existen algunos estudios experimentales (304, 358) en los que se aplicaron métodos de entrenamiento para la mejora de la frecuencia de zancada (cuestas abajo y carreras asistidas) en deportistas no atletas. Los hallazgos fueron que los sujetos mejoraron el rendimiento por un aumento de la amplitud y no de la frecuencia. Por lo tanto, se demuestra que las adaptaciones tras un entrenamiento son totalmente dependientes del nivel del deportista.

Con relación a la frecuencia de zancada, las diferencias encontradas en el GE y GC no son estadísticamente significativas entre el pre y el post-test, a pesar de aumentar la amplitud de zancada de forma significativa en el GE. La consecuencia directa de este aumento de amplitud y de un mantenimiento de la frecuencia, ha llevado a una mejora en la velocidad media de carrera en esta fase para el GE, ya que, desde un punto de vista cinemático, la velocidad, en el sprint, se puede determinar por el producto de la amplitud por la frecuencia de zancada (1, 18-20).

Algunas investigaciones indican que existe una correlación directa entre la frecuencia de zancada y el porcentaje de fibras rápidas del vasto lateral del cuádriceps femoral (19, 117). En concreto, parece estar implicado el reclutamiento de las vías que activan las unidades motoras más adecuadas, con el fin de

producir el mayor ratio de producción de fuerza (19), así como la coordinación inter-muscular (141). Incluso, algunos autores consideran que la frecuencia de zancada es una característica genética (3, 25). Todo ello justifica la falta de investigaciones que hayan encontrado mejoras en la frecuencia de zancada a corto plazo con el entrenamiento del sprint. Solamente, los estudios de Zafeiridis et al. (12) y Paradisis et al. (15) han mostrado mejoras en la frecuencia de zancada tras aplicar entrenamiento resistido en la fase de aceleración ( $7.1 \pm 2.9\%$ ; y del  $3.4\%$ ;  $p < 0.05$ , respectivamente), ambos en estudiantes poco entrenados, durante 8 y 6 semanas, respectivamente. Zafeiridis et al. (12) explican que las mejoras en la frecuencia de zancada en el GE se producen por el aumento de la inclinación del tronco. Según los autores (12), el incremento en la inclinación de tronco produjo una imposibilidad de mejorar la amplitud de zancada y las mejoras producidas en la fuerza del tren inferior se vieron reflejadas en el aumento de la frecuencia de zancada (12). En el estudio de Paradisis et al. (15), en el que se aplicó un entrenamiento combinado de cuestas hacia arriba y hacia abajo, se mejoró la frecuencia de zancada un  $3.4\%$ . Los incrementos en la frecuencia de zancada se produjeron por una reducción de los tiempos de vuelo ( $4.3\%$ ) y de los tiempos de contacto ( $2.1\%$ ). El aumento de la frecuencia de zancada se vio acompañado de un incremento en la velocidad de carrera (15).

Se puede pensar, por tanto, que con el entrenamiento resistido es difícil conseguir un aumento de la frecuencia de zancada a corto plazo en deportistas entrenados. En sujetos poco entrenados, sin embargo, las adaptaciones parecen

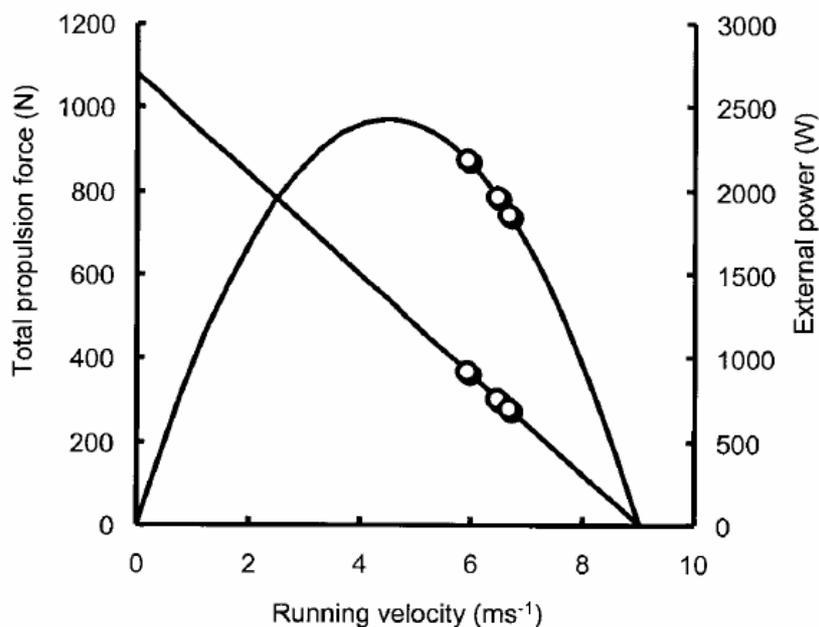
ser diferentes según el protocolo utilizado. En algunos trabajos, en los que el objetivo era desarrollar la frecuencia de zancada, se observaron aumentos en la amplitud (304, 358). Por el contrario, en estudios en los que el objetivo fue mejorar la amplitud de zancada, se encontraron mejoras significativas en la frecuencia de zancada (12, 15). Se demuestra de nuevo que las adaptaciones en sujetos poco entrenados van a ser diferentes a las producidas por un mismo entrenamiento en sujetos entrenados.

Por otro lado, en el presente trabajo, la distancia de aterrizaje aumenta significativamente con respecto al post-test en el GE. La distancia de aterrizaje depende de la posición de aterrizaje (113). Probablemente, las modificaciones producidas en la configuración del deportista, como son la disminución del ángulo de la cadera y de la rodilla en el apoyo, sean las causantes de este aumento en la distancia de aterrizaje. El aumento de la distancia de aterrizaje puede producir un aumento de la fase de frenado de la zancada (117), reduciendo el rendimiento (tiempo en 100 m.l.) de los atletas. Se ha observado, además que existe una correlación lineal positiva entre la distancia de aterrizaje y el tiempo de contacto (147). Así, una gran distancia de aterrizaje aumentará los tiempos de contacto. De hecho, en el presente estudio se ha observado un incremento no significativo de los tiempos de contactos en el GE. Por lo tanto, el control de los cambios cinemáticos producidos, descritos por Alcaraz et al. (52), al utilizar arrastres de trineo en la fase de máxima velocidad va a ser de suma importancia con el fin de evitar efectos permanentes indeseados.

En el GC, por el contrario, se produce una disminución significativa del tiempo de contacto (3.5%). Además, esta disminución es significativamente menor que las diferencias del tiempo de contacto en el post-test del GE, ya que este grupo lo aumenta un 2.4%. La explicación de esta disminución en los tiempos de contacto en el GC se puede hallar en la mejora de la rigidez vertical de los atletas de este grupo (213). Ésta, a su vez, puede haber aumentado por el trabajo específico realizado, incrementando la coordinación inter-muscular del tren inferior (233).

Diferentes estudios explican que los tiempos de contacto reducidos son un indicador que diferencia entre los buenos velocistas y los velocistas de menor nivel (59, 121, 159). Además, el descenso del tiempo de zancada con el incremento de la velocidad, se debe, principalmente al descenso de los tiempos de contacto (1). De ahí que diversos autores sugieran que el incremento en la frecuencia de zancada se obtenga por un descenso del tiempo total de contacto del pie con el suelo (1, 21, 122). Sin embargo, esta disminución en los tiempos de contacto no se ha visto acompañada de un aumento significativo de la frecuencia de zancada (descenso del  $0.5 \pm 4.3\%$ ). Por lo tanto, la posible relación entre la disminución de los tiempos de contacto con el incremento de la frecuencia de zancada podría ser dudosa. La causa principal del descenso significativo de los tiempos de contacto puede ser el incremento de forma tendente a la significación de la rigidez vertical en el GC (213).

Se debe resaltar que para el tiempo de contacto se producen diferencias estadísticamente significativas en los cambios del pre y post-test entre el GE y el GC, pues el GE los aumenta ligeramente y el GC los disminuye significativamente. Este hallazgo podría ser explicado por las afirmaciones de Kristensen et al. (16). Los autores explican la existencia de una hipotética relación entre la fuerza y la velocidad en los sprints (Figura 62). Parece ser que con el entrenamiento resistido se consiguen altas potencias a velocidades medias (se produce como consecuencia del ligero aumento en los tiempos de contacto de nuestros atletas), mientras que con el entrenamiento tradicional se obtiene alta potencia a velocidades altas (se produce por la disminución en los tiempos de contacto).



**Figura 62.** Comparación de tres condiciones de entrenamiento con sprints y la hipotética relación en la curva fuerza-velocidad de los mismos. Los tres círculos representan de izquierda a derecha, sprints resistidos, normales y asistidos. Las velocidades (*running velocity*) de los tres métodos se han obtenido de los valores medios observados en el estudio; la fuerza (*total propulsion force*) y la potencia (*external power*) se han tomado de curvas hipotéticas (16).

A partir de los resultados encontrados en el presente estudio, parece que el entrenamiento resistido con una carga que produzca una pérdida de la máxima velocidad del 7.5% en velocistas experimentados, es útil cuando se desee aumentar la amplitud de zancada en la fase de máxima velocidad. Por otro lado, cuando se desee aumentar la amplitud de zancada en deportistas poco entrenados, quizás sea suficiente un entrenamiento tradicional de velocidad, evitando, además, los posibles cambios en la técnica del deportista, tal y como parece mostrar el estudio de Zafeiridis et al. (12).

Además, resumiendo el efecto de los entrenamientos sobre el conjunto de variables de la zancada, se recomienda: el uso del entrenamiento con arrastres de trineo con cargas bajas, e imitando las características de la fase de máxima velocidad, en el periodo preparatorio específico (caracterizado por un trabajo predominante de la potencia); y el entrenamiento tradicional, por el contrario, al final de este periodo, coincidiendo con el periodo pre-competitivo y el

competitivo (caracterizado por un trabajo específico, en el que se pretende un aumento de la máxima velocidad de carrera).

#### *Variables cinemáticas*

En relación a las variables cinemáticas, las diferencias observadas son similares en ambos grupos de entrenamiento en dos tercios de los instantes analizados. Algunas de ellas negativas y otras positivas para el rendimiento en el sprint. En el instante  $T_{\text{down}}$ , la disminución del ángulo de la cadera, rodilla y muslo hace que los atletas tiendan a correr en una posición más “sentada” durante la fase de contacto de la zancada. Así, se podría producir una disminución de la altura del COM y un aumento de la oscilación vertical del mismo. Estas modificaciones cinemáticas producidas en ambos grupos de entrenamiento, aunque de forma principal en el GE, causan una postura negativa para el rendimiento. Se ha observado que ambos grupos de entrenamiento mejoran la fuerza de los flexores de la cadera de forma significativa, sin embargo la fuerza de los extensores permanece constante, rompiendo el equilibrio muscular de 1/1 recomendado (357) para los flexores/extensores de cadera. De esta forma, se produce una descompensación de los agonistas/antagonistas, y como consecuencia la adopción de esta posición más “sentada”. Se ha producido, además, un aumento significativo de la velocidad angular de la cadera de la extremidad libre en el GE. El aumento en la velocidad angular se puede explicar por el aumento de la fuerza de los flexores de cadera. Este incremento

significativo es muy favorable para el aumento del rendimiento del deportista, ya que una velocidad angular maximizada de la extremidad de recobro está íntimamente relacionada con los resultados cinéticos que determinan el éxito en los sprints (127).

Para el instante  $T_{mid}$ , se han observado modificaciones estadísticamente significativas similares de algunos de los ángulos y segmentos del tren inferior. En la extremidad de apoyo, se ha apreciado un aumento significativo de la flexión de la rodilla, del ángulo de la pierna y una disminución significativa del ángulo del muslo. En la extremidad libre, se ha observado un aumento significativo de la flexión de la rodilla. Además, en el GC se ha observado un aumento estadísticamente significativo de la inclinación del tronco (16.9%), así como de las velocidades angulares de la rodilla y el tobillo de la extremidad libre y de apoyo. La variación de los ángulos y segmentos en  $T_{mid}$  son el resultado de la posición adquirida por los sujetos en el instante anterior. Hay que destacar el incremento significativo de la flexión de la rodilla de la extremidad libre en ambos grupos. Esta modificación cinemática permite un movimiento más rápido del pie hacia delante (120), pues produce un descenso del momento de inercia de la extremidad inferior sobre la articulación de la cadera (2).

Uno de los hallazgos encontrados más destacables fue el aumento de la inclinación de tronco en  $T_{mid}$  para el GC. Se ha documentado de forma extensiva que, al usar arrastres de trineo, se produce un aumento de la inclinación de tronco

tanto en la fase de aceleración (48-50) como en la fase de máxima velocidad (51, 52). De ahí que la mayor parte de investigadores y entrenadores estén en la creencia de que la inclinación del tronco puede ser una de las modificaciones permanentes que se producen al usar estos dispositivos. En este estudio, no sólo no se demuestra lo contrario, sino que además, las modificaciones se han encontrado en el GC. De hecho, incrementos similares (36.9%) se han observado en el estudio de Spinks et al. (54) para el grupo tradicional en la fase de aceleración. Se puede pensar que el aumento en la inclinación del tronco puede estar relacionado con el aumento de la fuerza en los flexores de cadera, ya que estos se insertan en la zona lumbar. Se ha observado que ambos grupos mejoran la fuerza de los flexores de la cadera tras el entrenamiento. Sin embargo, sólo en el GC se produce un incremento estadísticamente significativo de la inclinación del tronco (aunque este incremento es poco relevante =  $\sim 2.5^\circ$ ). Una posible explicación de estos hallazgos puede residir en el hecho de que los deportistas del GC aún estén acelerando en este instante, por lo tanto, la inclinación del tronco es mayor en esta fase con respecto a la inclinación del tronco del GE. Una mayor inclinación del tronco permite una mejor posición para la aceleración.

Para finalizar con el instante  $T_{mid}$ , hay que destacar el aumento significativo de la velocidad angular de la rodilla y el tobillo de la extremidad libre, así como del tobillo de la extremidad de apoyo en el GC. Se puede explicar este aumento en la velocidad angular en el GC por el incremento que se produce en la coordinación inter-muscular tras el entrenamiento específico (233). En el presente

estudio, probablemente se puede justificar el aumento de la coordinación intermuscular por la tendencia a la significación encontrada en el incremento de la rigidez vertical en el GC. Ésta depende, en gran medida, de la coordinación intermuscular (203). Los beneficios observados en la velocidad angular del GC inciden directamente en los tiempos de contacto, reduciéndolos de forma estadísticamente significativa. Los incrementos en la velocidad angular hacen que los valores de nuestros deportistas se aproximen a los descritos ( $\sim 500^\circ \cdot s^{-1}$  para la articulación de la cadera) en velocistas de nivel internacional (127). Una alta velocidad en el apoyo indica la vigorosidad a la que ha sido extendida la extremidad durante esta fase (127).

En el instante  $T_{off}$ , sólo se ha encontrado un aumento mínimo, aunque significativo del ángulo de la pierna de la extremidad de apoyo en el GE. Esta modificación es permanente a lo largo de la fase de apoyo en este grupo, así, es un reflejo de la posición adquirida en los instantes anteriores. En el GC se ha observado una reducción del ángulo del tobillo y del pie, así como un aumento estadísticamente significativo de la velocidad angular de la cadera, todo ello en la extremidad de apoyo. De nuevo, la explicación del aumento estadísticamente significativo de la velocidad angular de la cadera en este grupo reside en el aumento de la rigidez vertical de la extremidad inferior para este grupo. El aumento en la velocidad angular es beneficioso, ya que ésta, en el despegue, demuestra la habilidad en el rendimiento para continuar el movimiento de

extensión, esta acción es crítica durante la fase de apoyo (momento de los extensores de cadera) (127).

Hasta el momento, no se han encontrado estudios experimentales en los que se hayan estudiado los efectos de un entrenamiento sobre las variables cinemáticas en la fase de máxima velocidad. En este sentido, la comparación de los datos obtenidos con los de la bibliografía científica no ha sido imposible.

Las aplicaciones para el entrenamiento de estos hallazgos, son que con el entrenamiento en el GE se mejora la amplitud de zancada, hecho muy recomendable para los velocistas, ya que un aumento de la amplitud de zancada con un mantenimiento de la frecuencia va a repercutir en el incremento del rendimiento. Por otro lado, hay que ser cautos a la hora de usar este tipo de entrenamiento, sobre todo con deportistas que no poseen una técnica de carrera estable, ya que se ha observado que el entrenamiento del GE produce una actitud "sentada" durante la carrera. Aunque las causas de esta actitud pueden deberse a una descompensación de la fuerza de los grupos musculares agonistas/antagonistas de la cadera producida por el entrenamiento global realizado. Con el entrenamiento del GC se produce una reducción de los tiempos de contacto con un mantenimiento de la amplitud, esta mejora influirá positivamente en los velocistas, ya que una disminución de los tiempos de contacto en la fase de máxima velocidad, también, beneficia el rendimiento. Sin embargo, hay que tener cuidado con el aumento de la inclinación de tronco que se

produce con este entrenamiento, principalmente en sujetos que tienden a correr con una inclinación de tronco exagerada. Remarcar que el presente trabajo parece confirmar que con el entrenamiento del GC se mejora la coordinación inter-muscular.

En resumen, se aconseja el entrenamiento del GE para mejorar la amplitud de zancada y la cinemática recomendada en la fase de transición, mientras que el entrenamiento del GC se propone para mejorar los tiempos de contacto y la coordinación inter-muscular. Por otro lado, hay que ser cautos a la hora de aplicar este tipo de entrenamiento en deportistas poco entrenados, sobre todo si se aplica con el objetivo de conseguir las adaptaciones producidas en los deportistas del presente estudio. Por último, se puede recomendar un trabajo compensatorio de los extensores de cadera, para evitar la descompensación producida entre los agonistas/antagonistas de cadera producida con el entrenamiento global aplicado.

## 6.2. VARIABLES CINÉTICAS

### 6.2.1. **Potencia mecánica pico**

Para conseguir un desarrollo del rendimiento específico, los atletas deben realizar ejercicios de entrenamiento a una carga específica y a una velocidad determinada que corresponda al rendimiento muscular de la competición (249). Este hecho hace que tanto la relación F-V como la de potencia-velocidad (P-V)

sean algunas de las variables importantes a considerar cuando se quiera conocer las condiciones del trabajo muscular requerido para cada especialidad.

En el presente estudio, la potencia mecánica pico se ha modificado con ambos entrenamientos. Para el GE se han producido aumentos significativos de la potencia pico al 45% y al 70% de 1-RM, mientras que el GC tan sólo mejoró de forma significativa al 30% del 1-RM. Al observar los resultados, se aprecia sin embargo, que el GC consigue su mayor incremento al 45% de 1-RM, aunque de forma no significativa. Este hallazgo se puede explicar, debido a la gran desviación estándar existente en este porcentaje de carga. La justificación de las mejoras en la potencia ante cargas más altas en el GE con respecto al GC reside en que los arrastres inciden más en la potencia por una ligera mejora de la fuerza, mientras que el entrenamiento del GC mejora la potencia del tren inferior por un incremento de la velocidad. Este hecho se observa en las mejoras estadísticamente significativas de la potencia ante la carga más baja del GC.

Se observa, por otro lado, que los sujetos consiguen su máxima potencia ante cargas altas (80% de 1-RM) tanto en el pre como en el post-test, a pesar de que se observa un desplazamiento de la curva potencia-fuerza ( $P-F$ ) hacia la izquierda, es decir, aumenta su potencia ante cargas más bajas. Con respecto al GE hay que destacar que desplaza la curva de forma más homogénea que el GC, que tan sólo la incrementa ante las cargas más bajas (30% y 45% de 1-RM). Una de las variables que puede afectar a los cambios de la curva de  $F-V$  es el

entrenamiento previo realizado (253, 256, 359). Se ha descrito que los cambios en la parte alta de la curva (más fuerza a la misma velocidad) son, esencialmente, debidos al entrenamiento de fuerza (256, 257). Sin embargo, los cambios en la parte baja (misma fuerza a más velocidad) se producen por el entrenamiento de velocidad (256, 257). El entrenamiento de musculación que se llevó a cabo tanto en la fase de estandarización como en la fase experimental estuvo caracterizado por estar enfocado en la mejora de la fuerza máxima y no tanto de la potencia. Esta orientación en el entrenamiento provocó que los sujetos obtuvieran su máxima potencia con cargas altas.

En el presente estudio se aplicó, en ambos grupos, el mismo entrenamiento para la mejora de la fuerza máxima, la única diferencia se produjo en el entrenamiento de velocidad. Sin embargo, el efecto del entrenamiento sobre la curva de potencia ha sido diferente en un grupo respecto al otro. Se puede deducir que el entrenamiento resistido sea un método muy apropiado de transición, con el fin de modificar la curva de potencia desde porcentajes altos de fuerza a otros más bajos. Jones et al. y McBride et al. (264, 316) encontraron que entrenamientos en los que se intenta maximizar la potencia con cargas bajas mejoran los picos de potencia y velocidad ante cargas bajas. Además, esta mejora en la potencia con cargas bajas muestra una tendencia a la significación en la mejora del rendimiento en 20 m (264).

Kristensen et al. (16), aportan una hipotética relación entre la fuerza y la velocidad en los sprints (Figura 62). En ella se observa que con el entrenamiento resistido se consigue alta potencia a velocidades moderadas, con el entrenamiento tradicional de velocidad se obtiene alta potencia con velocidades altas, y por último, con el entrenamiento asistido se consigue la máxima potencia ante velocidades muy altas. De hecho, para los sprints, se ha observado una correlación lineal inversa entre la carga a desplazar y la velocidad de carrera (49, 50, 170, 351). Este hecho se podría explicar, por un lado, gracias a los hallazgos de Baker (256), el cual encontró que conforme aumentaba la carga externa en dos grupos de jugadores de rugby de distintos niveles, las diferencias en la potencia desarrollada eran mayores. El autor expone que cuando la masa a desplazar o la fuerza es baja, la velocidad debe contribuir más a la producción de potencia. Sin embargo, cuando se incrementan la resistencia externa, la fuerza parece ser más importante para la producción de la potencia que la velocidad. Por otro lado, se podría justificar con el estudio de McBride et al. (246), en el que se comparan las características de fuerza en tres grupos de deportistas de potencia. Dicho estudio demostró que los velocistas (más rápidos ante cargas bajas) consiguen el mayor rendimiento en saltos verticales sin carga, sin embargo, según se va aumentando la carga al realizar los saltos, los power-lifters producen mayores potencias que los velocistas, pero éstas no son tan altas como las que producen los Olympic-lifters que, además, fueron los que produjeron los valores más altos de fuerza.

Las posibles implicaciones de estos hallazgos son que el entrenamiento en el GE produce un desplazamiento de la curva  $F-V$  hacia la derecha en la parte intermedia de la misma, es decir, produce mejoras de la potencia ante cargas intermedias. El entrenamiento en el GC produce un desplazamiento en la curva  $F-V$  hacia la derecha en la parte baja, es decir, produce mejoras de la potencia ante cargas bajas, produciendo claras mejoras en la fuerza específica del atleta.

### 6.2.2. Fuerza dinámica máxima

En el presente trabajo se estudió la evolución de la fuerza máxima en los grupos de entrenamiento. Las ganancias en fuerza máxima, tanto absolutas, como relativas fueron similares. El GE mejoró significativamente un 21.4% y un 21.9%, mientras que el GC aumentó significativamente su fuerza un 21.1% y un 21.9% en valores absolutos y relativos, respectivamente. Estos datos muestran que el entrenamiento de fuerza en la sala de musculación fue el mismo en los dos grupos, además, las adaptaciones al mismo fueron similares. Sorprende el gran aumento de fuerza dinámica máxima en sujetos entrenados. Este incremento se podría explicar como consecuencia de que el entrenamiento de fuerza máxima que se aplicó fue el primero de la temporada y los atletas en la fase competitiva y durante la fase de transición no trabajaron la FDM. Otra posible causa podría ser que el entrenamiento previo sistematizado en sala de musculación no ha sido todo lo correcto que debiera haber sido.

Distintos estudios han observado mejoras en la FDM tras aplicar entrenamientos en salas de musculación (17, 264, 315, 316). Blazeovich et al. (315) comprobaron que un entrenamiento combinado de fuerza y velocidad mejora, aunque de forma no significativa, la FDM del tren inferior un 12%. La muestra estaba compuesta por dos grupos de velocistas de nivel nacional que entrenaron de forma similar con la única diferencia de la modificación de la velocidad de ejecución en los ejercicios de FDM. Los datos mostrados difieren de los del presente estudio, ya que nuestros atletas mejoraron alrededor de un 21% la FDM. Las posibles causas de estas diferencias son dos: a) los atletas del estudio de Blazeovich et al. (315) realizaron el entrenamiento en la fase pre-competitiva. En esta fase, los niveles de fuerza máxima están muy desarrollados. El presente trabajo se realizó al comienzo de la temporada, al inicio de la fase preparatoria (los niveles de fuerza son más reducidos); y b) el entrenamiento de fuerza programado en el presente trabajo se desarrolló con un protocolo diferente. McBride et al. (264) encontraron ganancias en el 1-RM del 8.2% y del 10.2%, en dos grupos de atletas que entrenaron durante 8 semanas, 2 días por semana, con cargas que maximizaban la potencia ante resistencias bajas (SJ con una sobrecarga de 30 kg) o ante resistencia altas (SJ con una carga de 80 kg). Estas ganancias son similares a las observadas por Blazeovich et al. (315), sin embargo, siguen lejos de las halladas en el presente estudio.

El estudio de Jones et al. (316) ha mostrado ganancias en fuerza similares a las de nuestro estudio, en uno de los protocolos planteados. Dicho trabajo se

realizó con jugadores de béisbol ( $n = 30$ ) que entrenaron cuatro días por semana al 40-60% de 1-RM o al 70-90% de 1-RM durante diez semanas. Las mejoras en FDM fueron mayores en el grupo que entrenó con cargas altas 16.3% vs. 11.5% del grupo que entrenó con cargas bajas. Ambos grupos de entrenamiento realizaron la fase concéntrica del ejercicio a máxima velocidad. A pesar de que las ganancias en fuerza del grupo que entrenó con el 70-90% de 1-RM (16.3%) se aproximan a las de nuestro estudio (21.9%), sigue existiendo una diferencia de ~5%. Además, hay que tener en cuenta que los deportistas del trabajo de Jones et al. (316) entrenaron la fuerza máxima con una frecuencia semanal de cuatro días por semana durante 10 semanas, mientras que los atletas del presente estudio sólo lo realizaron con una frecuencia semanal de dos días, durante cuatro semanas. La interpretación que se puede obtener, a partir de las coincidencias en los distintos estudios es que los mayores incrementos en fuerza máxima se producen al realizar entrenamientos con altas intensidades (70-90% de 1-RM) realizando el gesto a máxima velocidad en la fase concéntrica.

Como aplicaciones prácticas se puede recomendar el entrenamiento combinado de fuerza máxima, junto con el de velocidad, al no observarse influencias negativas de un trabajo sobre el otro. Es más, en ambos grupos, se ha encontrado una mejora tanto en la fuerza máxima como en la potencia, acompañada de un aumento en el rendimiento de la velocidad gestual de carrera.

### 6.2.3. Fuerza isocinética máxima

Se han observado incrementos significativos en los torques pico, para la flexión de cadera, en las velocidades intermedias del GE, y en todas las velocidades en el GC. Sin embargo, cuando los resultados se exponen como relativos al peso corporal, sólo se producen aumentos significativos a la velocidad angular de  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  en el GE y a la velocidad de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  y  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  en el GC. La principal causa de estos resultados es el aumento de la FDM del tren inferior producida en ambos grupos de entrenamiento. No queda muy claro, sin embargo, el hecho de que el GC mejore significativamente la fuerza isocinética a baja velocidad ( $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ ) (fuerza máxima) y el GE no la mejore. La posible explicación de este hecho puede ser que el entrenamiento en el GC produce una mayor activación de las fibras de contracción rápida a consecuencia de la mayor velocidad de ejecución del gesto. Así, se produce un aumento de la coordinación intra-muscular en los flexores de la cadera y como consecuencia un aumento de la FDM de los mismos en el GC. Similares resultados fueron hallados en el estudio de Blazevich et al. (315). Los autores mostraron que el grupo que entrenaba la fuerza a alta velocidad con cargas más bajas mejoraba más la fuerza máxima de los flexores de cadera que el grupo que entrenaba a una velocidad más lenta y con cargas altas. De cualquier manera, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los grupos y a ninguna de las velocidades estudiadas para flexores y extensores de cadera. Esta falta de mejoras estadísticas es un reflejo del momento de realización del estudio. Éste se realizó en la fase pre-

competitiva, donde los niveles de fuerza son máximos, y como consecuencia las mejoras van a ser mínimas.

Al comparar los datos de la fuerza isocinética en las distintas velocidades con los encontrados en la bibliografía científica se observa mucha disparidad, principalmente en el pre-test, para las velocidades bajas. Blazevich et al. (70, 360) y Dowson et al. (361) encontraron valores de 238 N·m y 188 N·m, respectivamente a una velocidad angular de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$ . Estos valores son mayores a los encontrados en los sujetos participantes en el presente estudio. Sin embargo, se debe tener en cuenta que la muestra estaba compuesta, tanto por chicos como por chicas, mientras que en los estudios mencionados los sujetos eran del género masculino. Además, la posición de ejecución del test es diferente a la utilizada en el presente estudio (de pie). Los estudios de Blazevich et al. (70, 360) se realizaron con los sujetos en tendido supino, mientras que los sujetos en el estudio de Dowson et al. (361) permanecieron sentados.

Para la velocidad de  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ , los datos del presente estudio también son inferiores de los encontrados en la bibliografía consultada, sin embargo, las diferencias son mucho más pequeñas. Alexander (55) encontró torques, para velocistas de nivel nacional, de 180 N·m, mientras que en el presente trabajo los valores oscilaron entre 142-145 N·m en todo el grupo. Hay que destacar que este es el único estudio, de los encontrados, que utiliza la misma forma de ejecución que la usada en la presente investigación. Si se analizan los datos encontrados en

los sujetos masculinos, en el post-test, se hallan valores muy similares (172-181 N·m) a los del estudio de Alexander (55). Dowson et al. (361), por su parte, encontraron valores de 170 N·m en un grupo formado por velocistas, jugadores de rugby y otros atletas de deportes de equipo en los que la velocidad es determinante. La explicación posible de estos hallazgos reside en que el pre-test se realizó con un bajo nivel de forma de los sujetos del presente estudio. Sin embargo, tras las cuatro semanas de entrenamiento, los niveles de fuerza isocinética se igualan a los de la bibliografía científica.

#### 6.2.4. Rendimiento en saltos verticales

En el presente trabajo no se han encontrado mejoras estadísticamente significativas en el rendimiento (altura de salto) en ninguno de los saltos realizados (SJ, SJM, CMJ y DJ). Quizá, los efectos positivos observados en otras variables sean de carácter específico a las carreras de velocidad y no tanto a los saltos verticales, ya que el entrenamiento fue programado con el fin de mejorar el rendimiento en el sprint. Similares resultados se han encontrado en estudios con protocolos de entrenamiento parecidos. Blazevich et al. (17) no hallaron diferencias estadísticamente significativas al realizar saltos verticales tras un entrenamiento combinado de fuerza, saltos y velocidad durante 5 semanas, no obstante sí se produjeron mejoras estadísticamente significativas al realizar un sprint de 10 m.

Los valores del CMJ encontrados en velocistas masculinos júnior de nivel nacional (5 primeros de Australia) son mayores ( $49.9 \pm 2.7$  cm) (281) a los encontrados en nuestros deportistas masculinos ( $38.6 \pm 4.9$  cm). En el DJ, los valores medios de la totalidad de la muestra del presente estudio (30.7 – 33.5 cm) son similares a los encontrados en velocistas de nivel nacional ( $30.7 \pm 1.6$  cm) (117). La posible explicación encontrada a la gran diferencia entre nuestros deportistas y los encontrados en deportistas de nivel nacional para el CMJ puede residir en el nivel de la muestra. Nuestra muestra posee un nivel regional-nacional en distintas disciplinas como son la velocidad, saltos y pruebas combinadas, mientras que los deportistas del estudio de McBride et al. (246) son velocistas y están entre los primeros del ranking nacional.

Sin embargo, sí se han observado mejoras estadísticamente significativas en la potencia desarrollada al realizar un SJM en el GC, mientras que el GE ha mejorado significativamente la fuerza aplicada a los 100 ms, también, al realizar un SJM. Estos últimos incrementos se han producido tanto en valores absolutos como relativos al peso corporal, además son estadísticamente diferentes a los mostrados en el post-test del GC. Es posible que estas variables estén más relacionadas con el sprint que la altura del salto, propiamente dicho.

Con relación a los valores de potencia desarrollados con los CMJ's, los deportistas varones de nuestro estudio presentaron datos similares a los mostrados en velocistas de élite nacional (246) ( $4929 \pm 795$  vs.  $4906 \pm 222$ ). Con

respecto al ratio de altura-tiempo de contacto ( $DJ_{\text{Index}}$ ), los valores hallados en el presente estudio ( $190 \pm 79 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ ), en el pre-test de los sujetos masculinos, son comparables a los mostrados por Young et al. (246) ( $175 \pm 50$ ;  $188 \pm 58$ , para un  $DJ_{60}$  y un  $DJ_{45}$ , respectivamente) en deportistas de potencia y salto. Por último, para la fuerza aplicada a los 100 ms del SJM, nuestros deportistas aplican más fuerza que los velocistas del estudio de Young et al. (362) ( $2675 \pm 458 \text{ N}$  vs.  $1626 \pm 448 \text{ N}$ ). Se debe indicar que estos últimos deportistas realizaron el salto con una sobre-carga de 19 kg.

Los deportistas del presente estudio no han mejorado el rendimiento en ninguno de los saltos analizados, sin embargo, sí que han mejorado el rendimiento en algunos aspectos de fuerza y potencia, además de algunas de las distancias estudiadas, dependiendo del grupo seleccionado. Existe una correlación entre el CMJ y la fase de transición del sprint (362), y una correlación entre el DJ y la fase de máxima velocidad. Sin embargo, el mejor predictor de la máxima velocidad es la fuerza máxima generada durante los 100 ms desde el comienzo de un salto concéntrico con una carga de 9 kg (362). Atendiendo a los resultados de nuestro estudio, que muestran que el GE mejora significativamente la fuerza en los primeros 100 ms y estas diferencias, son, además, estadísticamente significativas a las encontradas en el GC, se podría establecer que: a) la mejora de la fuerza determinante en la fase de máxima velocidad se desarrolla con el entrenamiento resistido. Sin embargo, estas mejoras en el rendimiento de la carrera no se producen de forma paralela. La posible causa es

que existe un aumento importante en el tiempo de contacto, con el entrenamiento del GE, tanto en los DJ's como en la zancada; y b) se puede deducir, por otro lado, que el GC mejora la potencia, probablemente por un incremento de la velocidad, más que de la fuerza. Este grupo no solo no mejora la fuerza aplicada en los primeros 100 ms, sino que la empeora de forma no significativa. Además, disminuye ligeramente los tiempos de contacto en el DJ, y de forma significativa durante la zancada en la fase de máxima velocidad.

Así, se puede inferir que el entrenamiento resistido produce una mejora de la fuerza específica en la fase de máxima velocidad, y ésta no se ve transferida al rendimiento en la fase de máxima velocidad. La causa es el aumento de los tiempos de contacto, de ahí que este grupo mejore en la fase de transición, donde los tiempos de contacto no son tan reducidos. El entrenamiento del GC, por otro lado, produce una mejora de la potencia específica, y ésta sí que se transfiere a la fase de máxima velocidad, ya que se ve acompañada de una disminución de los tiempos de contacto.

### 6.3. VARIABLES ANTROPOMÉTRICAS

El entrenamiento combinado de musculación y velocidad es habitual en deportes de fuerza-velocidad, pues existe una correlación directa entre la hipertrofia muscular y la fuerza máxima del deportista (363). Esto se debe a que la velocidad está estrechamente relacionada con la fuerza y la potencia que el sujeto

posea (24). De hecho, se ha demostrado que el entrenamiento utilizando una combinación de ejercicios de fuerza máxima y de potencia máxima, puede resultar en adaptaciones beneficiosas para un desplazamiento de la curva de F-V hacia la derecha, y en consecuencia, una mejora en una amplia gama de habilidades deportivas (258-261). Sin embargo, el aumento de fuerza debe producirse evitando un aumento excesivo de la hipertrofia muscular, ya que la relación entre el rendimiento y la carga a desplazar (peso corporal) es determinante en el resultado final (26). De hecho, se ha observado un mayor rendimiento en 100 m.l. en aquellos velocistas que posean una relación inversa entre la masa del tren inferior y la fuerza ejercida por los flexores de la cadera (193).

En el presente estudio se produjo un aumento significativo del peso corporal de toda la muestra de sujetos. Además se hallaron diferencias significativas en el perímetro del muslo para ambos grupos (4.1% y 4.7%, GE y GC, respectivamente). A la vez, no se encontraron modificaciones en los pliegues cutáneos. Este hecho indica un aumento de la hipertrofia del muslo similar, en los grupos de entrenamiento. Así, se ha producido una disminución significativa del componente ectomórfico a favor del componente mesomórfico. Este resultado fue esperado, debido a que se trabajó la fuerza en la sala de musculación a intensidades en las que la hipertrofia es mayor (307).

La hipertrofia muscular es habitual en velocistas. Este hecho ha sido demostrado por algunos autores (198), que observaron una mayor sección de área transversal (CSA) en los grupos musculares del muslo cuando se comparó con población no atleta. Se han encontrado, además, aumentos significativos en el grosor de las fibras musculares tras aplicar un entrenamiento de 5 semanas, combinando el entrenamiento de fuerza en sala de musculación con entrenamiento de velocidad (17).

Así, en el proceso de entrenamiento de la fuerza a medio plazo para los velocistas, se debe introducir una fase en la que se desarrolle la hipertrofia (319). Por un lado, por la relación existente entre la hipertrofia y la fuerza máxima (363), y a su vez la relación de esta última con la potencia (24, 253, 254), y por otro, por la relación entre un adecuado tono para evitar lesiones musculares (307). Habitualmente, esta fase se introduce al comienzo de la temporada (222, 319, 364), por su menor especificidad, y con el objeto de evitar lesiones al introducir las fases posteriores del trabajo de fuerza explosiva. De ahí que este estudio se desarrollara al comienzo de la temporada, tras una fase de adaptación anatómica, y tras realizar tres semanas de estandarización con trabajo de hipertrofia muscular.

La duración del presente entrenamiento fue corta, debido a que la muestra estaba compuesta por atletas entrenados, y se debía perder el menor tiempo posible para poder continuar con sus trabajos específicos. Aún así, se puede

observar que se pueden conseguir ganancias de masa muscular, en deportistas entrenados, con poco tiempo de trabajo en sala de musculación. De hecho, existen evidencias de que pueden ocurrir cambios neurológicos en periodos de 4-6 semanas de entrenamiento de musculación, y estos tienen el potencial de afectar a la morfología muscular (365). Además, estas ganancias en la fuerza muscular parecen incidir de forma positiva tanto en la potencia como en la fuerza específica, en ambos grupos de entrenamiento.

#### 6.4. MECÁNICA MÚSCULO-ARTICULAR. LA RIGIDEZ

Los distintos estudios revisados parecen indicar que una alta rigidez, bien sea total o vertical, incide de forma positiva en el rendimiento en el sprint (9, 22, 209-212, 214, 215, 217). De hecho, se ha observado que la rigidez aumenta cuando se incrementa la velocidad de carrera (209-211). Esto se debe a que una alta rigidez produce una disminución en los tiempos de contacto, además de una reducción de la oscilación vertical del COM durante la fase de contacto (213).

En el presente trabajo no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre el pre y el post-test para la rigidez de la extremidad de apoyo, ni tampoco en la rigidez vertical, en ninguno de los grupos. Sin embargo, sí se encontraron tendencias a la significación ( $p = 0.081$ ) en la rigidez vertical del GC. Quizá, la corta duración del entrenamiento no haya permitido que las mejoras fueran significativas. La causa que ha podido producir las mejoras en la rigidez

vertical en el GC es el posible aumento de la coordinación inter-muscular observada en dicho grupo, ya que ésta incide en el incremento de la misma (91).

Los datos del pre-test del estudio, para los atletas masculinos, en la rigidez vertical ( $155 \pm 29 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ) es similar a la mostrada por los velocistas masculinos (marca en 100 m.l. = 10.91 s) en la fase de máxima velocidad ( $\sim 160 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ). Con relación a la rigidez de la extremidad, los valores del presente trabajo ( $12.9 \pm 3.1 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ) son comparables a los mostrados por corredores de medio fondo en una carrera a máxima velocidad ( $13.3 \pm 1.9 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-1}$ ).

Se ha demostrado que un aumento de la rigidez vertical produce una disminución de los tiempos de contacto (213). De hecho, uno de los hallazgos más importantes en nuestro estudio es que el GC mejora significativamente los tiempos de contacto en la fase de máxima velocidad. Por lo tanto, la posible explicación a esta mejora reside en el incremento de la rigidez vertical, que aunque los aumentos producidos en el GC no son significativos, tienden a la significación ( $p = 0.081$ ). Los resultados también concuerdan en el GE, ya que la rigidez articular vertical y los tiempos de contacto se redujeron de forma parecida, aunque no significativamente.

Finalmente, parece ser que el proceso que ayuda a la mejora de la rigidez músculo-articular es el aumento de la pre-activación muscular (9, 214). Así, se debe suponer que el GC mejora la capacidad de pre-activar los músculos

ejecutores de la zancada. Esta suposición es lógica y se basa en el *principio de especificidad*, indicando que el entrenamiento del GC es más específico que el del GE para la mejora del rendimiento en la fase de máxima velocidad.

Como resumen, los efectos de la mejora de la rigidez vertical son: 1) reducción de los tiempos de contacto (213); 2) la disminución de éstos puede incrementar la frecuencia de zancada; y finalmente, 3) el aumento, observado en el presente estudio, en el rendimiento en la fase de máxima velocidad del sprint.

Como aplicaciones prácticas, se puede recomendar el entrenamiento llevado a cabo por el GC cuando se desee un incremento en el rendimiento en la fase de máxima velocidad. Éste se puede producir por un aumento de la coordinación inter-muscular, influyendo positivamente en el incremento de la rigidez vertical del atleta. El entrenamiento del GE no parece ser apropiado para mejorar la rigidez vertical, aunque tampoco la disminuye de forma significativa.



---

## 7. CONCLUSIONES



## CONCLUSIONES

A continuación se presentan las conclusiones del estudio. Se debe tener en cuenta que las mismas son aplicables únicamente a deportistas de características similares a los del presente trabajo:

El efecto a corto plazo del entrenamiento de *velocidad con trineo* y del entrenamiento de *velocidad*, respecto a las variables de rendimiento fue:

1. El entrenamiento de arrastres produjo una mejora en el rendimiento de los atletas en la fase de transición (15-30 m). El entrenamiento de velocidad, produjo mejoras del rendimiento en la fase de máxima velocidad (30-50 m). Ninguno de los dos tipos de entrenamiento mejoró el rendimiento en la fase de aceleración inicial (0-15 m).

El efecto a corto plazo del entrenamiento de *velocidad con trineo* y del entrenamiento de *velocidad*, respecto a las variables cinemáticas fue:

2. En el entrenamiento con arrastres se produjo, una ligera reducción en los tiempos de contactos de los atletas, un incremento de la inclinación del tronco en la fase de aceleración y un incremento de la amplitud de zancada y de la distancia de aterrizaje en la fase de máxima velocidad.

3. En el entrenamiento de velocidad se produjo, un incremento ligero de la frecuencia de zancada en la fase de aceleración, un incremento de las velocidades angulares de la cadera, rodilla y tobillo, disminuyó el tiempo de contacto y aumentó la inclinación de tronco en la fase de máxima velocidad.
4. La adopción de una posición “sentada” tras el entrenamiento en ambos grupos de entrenamiento. Dicha posición es menos acentuada en el grupo de entrenamiento de velocidad.

El efecto a corto plazo del entrenamiento de *velocidad con trineo*, respecto a las variables cinéticas fue:

5. Un aumento en la fuerza dinámica máxima, tanto en valores absolutos como relativos al PC.
6. Un incremento de la potencia ante cargas del 45% y 70% del 1-RM, un aumento de la FIC de los flexores de cadera a las velocidades de  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  y  $270^{\circ} \cdot s^{-1}$  en valores absolutos, un incremento del torque pico a la velocidad de  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  en valores relativos. No se mejoró el rendimiento de ninguno de los saltos estudiados, sin embargo se produjo una mejora en la fuerza aplicada en los 100 ms en el SJM.

El efecto a corto plazo del entrenamiento de *velocidad*, respecto a las variables cinéticas fue:

7. Un aumento en la fuerza dinámica máxima, tanto en valores absolutos como relativos al PC.
8. Un incremento de la potencia al 30% de 1-RM, un incremento de la FIC de los flexores de cadera en todas las velocidades analizadas, incremento del torque pico en las velocidades de  $60^{\circ} \cdot s^{-1}$  y  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$ , en valores relativos al peso corporal. No se incrementó el rendimiento de ninguno de los saltos estudiados y una mejora en la potencia pico al realizar un SJM.

El efecto a corto plazo del entrenamiento de *velocidad con arrastres* y de *velocidad*, respecto a las variables antropométricas y mecánico musculares-articulares fue:

9. Un incremento del peso corporal de los deportistas, así como del perímetro del muslo.
10. En el grupo de entrenamiento de velocidad se produjo, un ligero incremento en la rigidez vertical. En el entrenamiento con arrastres de trineo no se modificaron sus niveles de rigidez muscular.



## CONCLUSIONS

The following section is the conclusions of the study. It should be considered that these are only applicable to athletes with similar characteristics to the participants of this research:

The effect of short-term *sled towing* training and *traditional sprint* training, regarding the performance variables, was:

1. The weighted sled training produced an increase in the athlete's performance, in the transition phase (15-30 m). The traditional sprint training raised the athlete's performance in the maximum velocity phase (30-50 m). There were no effects on the initial acceleration phase (0-15 m) with none of the different trainings.

The effect of short-term *sled towing* training and *traditional sprint* training, regarding the kinematic variables, was:

2. The weighted sled training yielded a slight reduction in the athletes' contact time, and an increase in body lean, in the acceleration phase. In the maximum velocity phase, an enhancement in stride length and landing distance was found.

3. The traditional sprint training produced a light increase in stride frequency in the acceleration phase. In the maximum velocity phase augmented hip, knee, and ankle angular velocities, decreased contact time and increased body lean.
4. An adoption of a “sitting” position after training in the groups. This posture is less accentuated in the traditional sprint training group.

The effect of short-term *sled towing* training, regarding the kinetic variables, was:

5. An increase in maximum dynamic strength, both in absolute values and relative to the body weight (PC).
6. An enhancement in peak power at 45% and 70% of 1-RM, a raise of concentric isokinetic strength (FIC) of the hip flexors at angular velocities of  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  and  $270^{\circ} \cdot s^{-1}$  in absolute data, and an increase of peak torque at  $180^{\circ} \cdot s^{-1}$  relative to PC. Performance was not improved in none of the jumps executed, however an increase in the maximum force applied at 100 ms from the start of a SJM was found.

The effect of short-term *traditional sprint* training, regarding the kinetic variables, was:

7. An increase in maximum dynamic strength, both in absolute values and relative to the body weight (PC).
8. An enhancement in peak power at 30% of 1-RM, a raise of the FIC of the hip flexors at all angular velocities analyzed, in absolute data, and an increase of peak torque at  $60^\circ \cdot s^{-1}$  and  $180^\circ \cdot s^{-1}$  relative to PC. Performance was not improved in none of the jumps executed, however an increase in the peak power when performing a SJM was found.

The effect of short-term *sled towing* training and *traditional sprint* training, regarding the anthropometric and stiffness variables was:

9. An increment of PC, beside an enlargement of the thigh's perimeter.
10. A light increase in vertical stiffness, in the traditional sprint training group. In the sled towing training group there were not changes in vertical or total stiffness.





---

## 8. APLICACIONES PRÁCTICAS Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN



## APLICACIONES PRÁCTICAS

A partir de los resultados hallados y tras su discusión con la bibliografía consultada, se pueden recomendar las siguientes aplicaciones prácticas para el entrenamiento:

- ✓ Se recomienda el entrenamiento resistido con trineos (carga 7.5% de pérdida de la máxima velocidad) a corto plazo para mejorar aspectos relacionados con el rendimiento en la fase de transición. Mientras, que el entrenamiento de velocidad se recomienda para mejorar aspectos de la fase de máxima velocidad.
  
- ✓ La carga externa impuesta por los arrastres parece determinar las adaptaciones específicas en una fase o en otra del sprint. A partir de los estudios encontrados y de las recomendaciones halladas en la bibliografía revisada se puede aconsejar de forma orientativa los siguientes valores de carga externa. Esta variará en función de la fase de carrera que se desee entrenar:
  - Fase de aceleración inicial (con cargas que produzcan una pérdida de ~ 10% de la máxima velocidad).
  
  - Fase de transición (con cargas de ~ 7.5% de la máxima velocidad).

- Fase de máxima velocidad (probablemente con cargas  $\leq 5\%$  de la máxima velocidad).
  
- ✓ Se recomienda un entrenamiento integrado y de mayor duración, para poder incidir en la mayor parte de los aspectos que producen un aumento del nivel de la velocidad máxima instantánea en atletas entrenados. Son necesarios futuros estudios en esta línea para comprender el efecto del entrenamiento resistido en velocistas.
  
- ✓ El aumento de los tiempos de contacto en la fase de aceleración con el entrenamiento resistido puede ser positivo, si se acompaña de un aumento de la amplitud de zancada. Este incremento puede producir un aumento de la duración de la fase de aceleración con una posterior reducción de la duración de la fase de deceleración. Sobre todo, en aquellos atletas que aceleran muy rápidamente a consecuencia de una frecuencia de zancada alta con una amplitud de zancada reducida.
  
- ✓ En el grupo que entrena la velocidad, los cambios producidos en la fase de aceleración para la velocidad angular serán beneficiosos para los atletas en general. Esto va a permitir aumentar la velocidad máxima del

deportista por medio de un incremento de la frecuencia de zancada, sin una reducción de la amplitud.

- ✓ Para la fase de máxima velocidad, el efecto a corto plazo del entrenamiento resistido con una carga que produzca una pérdida de la máxima velocidad del 7.5% en velocistas experimentados, de forma general, es útil cuando se desee aumentar la amplitud de zancada. A partir de la bibliografía revisada, se recomienda que, cuando se desee aumentar la amplitud de zancada en deportistas poco entrenados, quizás sea suficiente un entrenamiento tradicional de velocidad, evitando, además, los posibles cambios en la técnica del deportista.
- ✓ Se debe remarcar, además, la importancia del entrenamiento previo realizado y el nivel de la muestra al llevar a cabo distintos entrenamientos. El hecho de no controlar este aspecto puede hacer que los efectos pueden ser totalmente contrarios a los deseados cuando se aplican métodos a deportistas entrenados con respecto a los no entrenados. Por lo tanto, se necesita una muestra específica para orientar las adaptaciones deseadas.
- ✓ A partir de los resultados y de las recomendaciones de la bibliografía encontrada se aconseja el uso del entrenamiento con arrastres de trineo con cargas bajas, e imitando las características de la fase de máxima velocidad, en el periodo preparatorio específico. El entrenamiento de

velocidad específico, por el contrario, al final de este periodo, coincidiendo con el periodo pre-competitivo y el competitivo (caracterizado por un trabajo específico, en el que se pretende un aumento de la máxima velocidad de carrera).

- ✓ Se debe ser cautos, a la hora de usar este tipo de entrenamiento, sobre todo con deportistas que no poseen una técnica de carrera estable, ya que se ha observado que el entrenamiento del GE, en la fase de máxima velocidad, puede producir una actitud “sentada” durante la carrera.
  
- ✓ Con el entrenamiento de velocidad, en la fase de máxima velocidad, se produce una reducción de los tiempos de contacto y se mejora la coordinación inter-muscular. Estas mejoras influirán positivamente en los velocistas, ya que beneficia el rendimiento.
  
- ✓ Las mejoras en las curvas de F-V y en la fuerza al realizar un SJM indican que el entrenamiento con arrastres se puede usar en una fase previa a la fase competitiva, y posterior a la general. Mientras que los cambios producidos por el entrenamiento de velocidad en la curva de F-V, en la potencia al realizar un SJM, y en la rigidez vertical indican que este entrenamiento son adecuados en la fase pre-competitiva y competitiva.

## FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

A continuación se describen las líneas que, partiendo de este trabajo, pueden ser tratadas en futuras investigaciones:

- Realizar un estudio similar de mayor duración con el fin de observar la evolución de la técnica tanto en el grupo experimental como en el grupo control.
- Replicar el estudio pero utilizando otros métodos resistidos, como pueden ser los chalecos lastrados, paracaídas, etc.
- Estudiar la retención de las mejoras observadas en las distintas variables analizadas, una vez haya finalizado la aplicación del mismo.
- Replicar el estudio pero modificando la carga interna impuesta a los atletas por la resistencia del trineo, analizando las adaptaciones específicas y su posible correlación con las distintas fases de la carrera del sprint.





---

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS



**REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. Dillman CJ. Kinematic analyses of running. *Exerc Sport Sci Rev.* 1975;3:193-218.
2. Williams KR. Biomechanics of running. *Exerc Sport Sci Rev.* 1985;13:389-441.
3. Baughman M, Takaha M, Tellez T. Sprint training. *NSCA J.* 1984;6:34-6.
4. Bangsbo J, Norregaard L, Thosoe F. Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci.* 1991;16(2):110-6.
5. Hay JG. *The Biomechanics of Sports Techniques.* 4th ed. London: Prentice Hall International; 1994.
6. Majdell R, Alexander MJL. The effect of overspeed training on kinematic variables in sprinting. *J Hum Movement Stud.* 1991;21:19-39.
7. Volkov I, Lapin V. Analysis of the velocity curve in sprint running. *Med Sci Sports* 1979;11:322-7.
8. MacDougall JD, Wenger HA, Green HJ. *Evaluación fisiológica del deportista.* Barcelona: Paidotribo; 1995.
9. Mero A, Komi PV, Gregor RJ. Biomechanics of sprint running: A review. *Sports Med.* 1992;13:376-92.
10. Ikai M. Biomechanics of sprint running with respect to the speed curve. En: Wartenweiler J, Jokl E, Hebbelinck M, editores. *Medicine and Sports, Biomechanics I.* Basel: S. Karger; 1968. p. 282-90.
11. Luhtanen P, Komi PV. Mechanical factors influencing running speed. En: Asmussen E, Jorgensen K, editores. *Biomechanics VI- B.* Baltimore: University Park Press; 1978. p. 23-9.

12. 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;45:284-90.
13. Baughman M, Takaha M, Tellez T. Sprint training. Including strength training. *Track Field Quart Rev*. 1984;84(2):9-12.
14. Bosen KO. Experimental speed training. *Track Technique*. 1979;75:2382-3.
15. Paradisis GP, Cooke CB. The effects of sprint running training on sloping surfaces. *J Strength Cond Res*. 2006;20(4):767-77.
16. Kristensen GO, van den Tillaar R, Ettema GJC. Velocity specificity in early-phase sprint training. *J Strength Cond Res*. 2006;20(4):833-7.
17. Blazeovich AJ, Gill ND, Bronks R, Newton RU. Training-Specific Muscle Architecture Adaptation after 5-wk Training in Athletes. *Med Sci Sports Exerc*. 2003;35(12):2013-22.
18. Ballreich R. Model for estimating the influence of stride length and stride frequency on the time in sprint events. In: Komi PV, editor. *Biomechanics V-B*. Baltimore: University Park Press; 1976. p. 208-12.
19. McFarlane B. Developing maximal running speed. *Nat Strength Cond Assoc J*. 1984;17:24-8.
20. Rogers J. Planning training for sprinters. *Track Field Quart Rev*. 1984;84(2):13-7.
21. Mann R, Herman J. Kinematic analysis of Olympic sprint performance: Men's 200 meters. *Int J Sport Biomech*. 1985;1:151-62.
22. Mero A, Komi PV. Force-, EMG-, and elasticity-velocity relationship at submaximal, maximal and supramaximal running speeds in sprinters. *Eur J Appl Physiol*. 1986;55:553-61.
23. Korchemny R. Evaluation of sprinters. *NSCA J*. 1985;7(4):38-42.

24. Moss BM, Refsnes PE, Abildgaard A, Nicolaysen K, Jensen J. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;75(3):193-9.
25. Costello F. Training for speed using resisted and assisted methods. *NSCA J.* 1985;5(6):74-5.
26. Delecluse C. Influence of strength training on sprinting performance: Current findings and implications for training. *Sports Med.* 1997;24:147-56.
27. Delecluse C, Van Coppenolle H, Willens E, Van Leemputte D, Diels R, Gordis M. Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27(8):1203-9.
28. Mero A, Komi P. EMG, Force, and power analysis of sprint-specific strength exercises. *J Appl Biomech.* 1994;10:1-13.
29. Behm DG, Sale DG. Intended rather than actual movement velocity determines velocity-specific training response. *J Appl Physiol.* 1993 Jan;74(1):359-68.
30. Cissik JM. Means and Methods of Speed Training, Part I. *Strength Cond J.* 2004;26(4):24-9.
31. Cissik JM. Means and Methods of Speed training: Part II. *Strength Cond J.* 2005;27(1):18-25.
32. Dick F. Developing and maintaining speed in sprint over one year. *Athletics Coach.* 1989;23(1):3-8.
33. Donati A. The association between the development of strength and speed. *New Stud Athlet.* 1996;11(2-3):51-8.
34. Heisler, Turner, Norton. Development of a world Class Sprinter. *Track Field Quart Rev.* 1989;89(1):10-2.

35. Hoskisson JL. Sprinting: A new Look. *Track Field Quart Rev.* 1989;89(1):13-9.
36. Hoskisson JL, Korchemny R. Strength training for sprinters. *Track Field Quart Rev.* 1993;93(1):60-4.
37. Jakalski K. The pros and cons of using resisted and assisted training methods with high school sprinters. Parachutes, tubing and towing. *Track Coach.* 1998;144:4585-9, 612.
38. Lavrienko A, Kravtsev J, Petrova Z. Non-traditional training. *Modern Athlete & Coach.* 1990;28:3-5.
39. Sheppard J. The use of resisted and assisted training methods for speed development: coaching considerations. *Modern Athlete & Coach.* 2004;42:9-13.
40. Verkhoshansky Y. Speed training for high level athletes. *New Stud Athlet.* 1996;11(2-3):39-49.
41. Faccioni A. Assisted and resisted methods for speed development: Part 2. *Modern Athlete & Coach.* 1994;32(3):8-12.
42. Tabachnik B. The speed chute. *NSCA J.* 1992;14(4):75-80.
43. Young W, Benton D, Duthie G, Pryor J. Resistance training for short sprints and maximum-speed sprints. *Strength Cond J.* 2001;23(2):7-13.
44. Plisk SS. Speed, agility, and speed-endurance development. En: Baechle TR, Earle RW, editores. *Essentials of strength training and conditioning.* Champaign, Ill: Human Kinetics; 2000. p. 474-85.
45. Faccioni A. Assisted and resisted methods for speed development: Part 1 *Modern Athlete & Coach.* 1994;32(2):3-6.
46. Zatsiorsky VM. *Science and practice of strength training.* Champaign, Ill: Human Kinetics; 1995.

47. Cronin JB, Hansen KT. Resisted sprint training for the acceleration phase of sprinting. *Strength Cond J*. 2006;28:42-51.
48. Letzelter M, Sauerwein G, Burger R. Resistance runs in speed development. *Modern Athlete & Coach*. 1995;33:7-12.
49. Lockie RG, Murphy AJ, Spinks CD. Effects of resisted sled towing on sprint Kinematics in field-sport athletes. *J Strength Cond Res*. 2003;17(4):760-7.
50. Murray A, Aitchison TC, Ross G, Sutherland K, Watt I, McLean D, et al. The effect of towing a range of relative resistances on sprint performance. *J Sports Sci*. 2005 Sep;23(9):927-35.
51. Elvira JLL, Alcaraz PE, Palao JM. Effects of different resisted sprint running methods on stride length, stride frequency, and CG vertical oscillation. En: Hermann S, editor. XXIV ISBS Symposium 2006; 2006; Salzburg: International Society of Sports Biomechanics; 2006.
52. 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(3):890-7.
53. Hakkinen K, Komi PV, Alen M, Kauhanen H. EMG, muscle fibre and force production characteristics during a 1 year training period in elite weight-lifters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1987;56(4):419-27.
54. Spinks CD, Murphy AJ, Spinks WL, Lockie RG. The effects of resisted sprint training on acceleration performance and kinematics in soccer, rugby union, and australian football players. *J Strength Cond Res*. 2007;21(1):77-85.
55. Alexander MJL. The relationship between muscle strength and sprint kinematics in elite sprinters. *Can J Sport Sci*. 1989;14(3):148-57.
56. Hamilton N. Changes in sprint stride kinematics with ages in masters athletes. *J Appl Biomech*. 1993;9(1):15-26.

57. Ropret R, Kukolj M, Ugarkovic D, Matavulj D, Jaric S. Effects of arm and leg loading on sprint performance. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1998 May;77(6):547-50.
58. Kivi DMR. Sprint kinematics of the world's fastest human. *International Society of Biomechanics XVIIth Congress*. Calgary, Canada; 1999. p. 260.
59. Atwater AE. Kinematic analyses of sprinting. *Track Field Quart Rev*. 1982;82:12-6.
60. Mann R, Kotmel J, Herman J, Johnson B, Schultz C. Kinematic trends in elite sprinters. *International Symposium of Biomechanics in Sport*; 1984; Colorado Spring; 1984. p. 17-33.
61. Coh M, Dolenc A, Jost B. Kinematic, Kinetic & Electromyographic characteristics of the sprinting stride of top female sprinters. [web page] 2004 [cited 2004 01/12]; Available from:
62. Johnson MD, Buckley JG. The biomechanics of sprint running: Kinetic and kinematic parameters during stance. *J Sports Sci*. 1998;16:10-1.
63. Jansson E, Esbjörnsson M, Holm I, Jacobs I. Increase in the proportion of fast-twitch muscle fibres by sprint training in males. *Acta Physiol Scand*. 1990;140:359-63.
64. Esbjörnsson M, Hellsten-Westing Y, Balsom PD, Sjödin R, Jansson E. Muscle fibre type changes with sprint training: effect of training pattern. *Acta Physiol Scand*. 1993;149:245-6.
65. Zhou S, Mc Kennan MJ, Lawson D, Morrison W, Fairweather I. Effects of fatigue and sprint training on electromechanical delay of knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol*. 1996;72:410-6.
66. Thorstensson A, Sjödin B, Karlsson J. Enzyme activities and muscle strength after "sprint training" in man. *Acta Physiol Scand*. 1975 Jul;94(3):313-8.

67. Lynch GS, McKenna MJ, Williams DA. Sprint-training effects on some contractile properties of single skinned human muscle fibres. *Acta Physiol Scand*. 1994 Nov;152(3):295-306.
68. McKenna MJ, Schmidt TA, Hargreaves M, Cameron L, Skinner SL, Kjeldsen K. Sprint training increases human skeletal muscle Na(+)-K(+)-ATPase concentration and improves K<sup>+</sup> regulation. *J Appl Physiol*. 1993 Jul;75(1):173-80.
69. Dawson B, Fitzsimmons M, Green S, et al. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol*. 1998;78:163-9.
70. Blazeovich AJ, Jenkins D. Physical performance differences between weight-trained sprinters and weight trainers. *J Sci Med Sport*. 1998 Jan;1(1):12-21.
71. Sleivert GG, Backus RD, Wenger HA. The influence of a strength-sprint training sequence on multi-joint power output. *Med Sci Sports Exerc*. 1995 Dec;27(12):1655-965.
72. MacDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol*. 1998 Jun;84(6):2138-42.
73. Harridge SD, Bottinelli R, Canepari M, Pellegrino M, Reggiani C, Esbjornsson M, et al. Sprint training, in vitro and in vivo muscle function, and myosin heavy chain expression. *J Appl Physiol*. 1998 Feb;84(2):442-9.
74. Harmer AR, McKenna MJ, Sutton JR, Snow RJ, Ruell PA, Booth J, et al. Skeletal muscle metabolic and ionic adaptations during intense exercise following sprint training in humans. *J Appl Physiol*. 2000 Nov;89(5):1793-803.
75. Stokes KA, Nevill ME, Cherry PW, Lakomy HK, Hall GM. Effect of 6 weeks of sprint training on growth hormone responses to sprinting. *Eur J Appl Physiol*. 2004 Jun;92(1-2):26-32.

76. Liljedahl ME, Holm I, Sylven C, Jansson E. Different responses of skeletal muscle following sprint training in men and women. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996;74(4):375-83.
77. Nevill ME, Boobis LH, Brooks S, Williams C. Effect of training on muscle metabolism during treadmill sprinting. *J Appl Physiol.* 1989 Dec;67(6):2376-82.
78. Cadefau J, Casademont J, Grau JM, Fernandez J, Balaguer A, Vernet M, et al. Biochemical and histochemical adaptation to sprint training in young athletes. *Acta Physiol Scand.* 1990 Nov;140(3):341-51.
79. Chatzopoulos DE, Michailidis CJ, Giannakos AK, Alexiou KC, Patikas DA, Antonopoulos CB, et al. Postactivation potentiation effects after heavy resistance exercise on running speed. *J Strength Cond Res.* 2007 Nov;21(4):1278-81.
80. Cronin JB, Green JP, Levin GT, Brughelli ME, Frost DM. Effect of starting stance on initial sprint performance. *J Strength Cond Res.* 2007 Aug;21(3):990-2.
81. 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 May;22(3):691-8.
82. Myer GD, Ford KR, Brent JL, Divine JG, Hewett TE. Predictors of sprint start speed: the effects of resistive ground-based vs. inclined treadmill training. *J Strength Cond Res.* 2007 Aug;21(3):831-6.
83. Rabita G, Couturier A, Lambertz D. Influence of training background on the relationships between plantarflexor intrinsic stiffness and overall musculoskeletal stiffness during hopping. *Eur J Appl Physiol.* 2008 May;103(2):163-71.
84. Tellez T, Baughman, Takaha. University of Houston sprint training. Including strength training. *Track Field Quart Rev.* 1989;89(1):6-9.
85. Glaspey S. Soviet sprint training. *Track Field J.* 1980;4:19-20.

86. Leierer S. A guide for sprint training. *Athletic J.* 1979;59(6):105-6.
87. Smith J. U.C.L.A. 100-400 sprint training. *Track Field Quart Rev.* 1990;90(1):10-5.
88. Ross A, Leveritt M. Long-Term metabolic and skeletal muscle adaptations to short-sprint training. *Sports Med.* 2001;31(15):1063-82.
89. Cissik JM. Technique and speed developmet for running. *NSCA's Perform Training J.* 2002;1(8):18-21.
90. Cissik JM, Barnes M. *Sports Speed and Agility.* Monteray, CA: Coaches Choice; 2004.
91. Ross A, Leveritt M, Riek S. Neural Influences on Sprint Running. *Sports Med.* 2001;31(6):409-25.
92. Cronin J, Hansen K, Kawamori N, McNair P. Effects of weighted vests and sled towing on sprint kinematics. *Sports Biomech.* 2008 May;7(2):160-72.
93. de Villarreal ES, Gonzalez-Badillo JJ, Izquierdo M. Low and moderate plyometric training frequency produces greater jumping and sprinting gains compared with high frequency. *J Strength Cond Res.* 2008 May;22(3):715-25.
94. Impellizzeri FM, Rampinini E, Castagna C, Martino F, Fiorini S, Wisloff U. Effect of plyometric training on sand versus grass on muscle soreness and jumping and sprinting ability in soccer players. *Br J Sports Med.* 2008 Jan;42(1):42-6.
95. Markovic G, Jukic I, Milanovic D, Metikos D. Effects of sprint and plyometric training on muscle function and athletic performance. *J Strength Cond Res.* 2007 May;21(2):543-9.
96. Ratamess NA, Kraemer WJ, Volek JS, French DN, Rubin MR, Gomez AL, et al. The effects of ten weeks of resistance and combined plyometric/sprint

training with the Meridian Elyte athletic shoe on muscular performance in women. *J Strength Cond Res.* 2007 Aug;21(3):882-7.

97. Slawinski J, Dorel S, Hug F, Couturier A, Fournel V, Morin JB, et al. Elite long sprint running: a comparison between incline and level training sessions. *Med Sci Sports Exerc.* 2008 Jun;40(6):1155-62.

98. Moravec P, Ruzicka J, Susanka P, Dostal M, Kodejs M, Nosek M. The 1987 international athletic foundation/IAAF scientific project report: time analysis of the 100m events at the II World Championships in Athletics. *New Stud Athlet.* 1988;3:61-96.

99. Delecluse C, Van Coppenolle H, Willems P, Diels R, Goris M, Van Leemputte M, et al. Analysis of 100 meter sprint performance as a multidimensional skill. *J Hum Movement Stud.* 1995;28:87-101.

100. Gajer, Thépaut-Mathieu, Lehenaff. Evolution of stride and amplitude during course of the 100 m event in athletics. *New Stud Athlet.* 1999;14(1):43-9.

101. Murase Y, Hoshikawa T, Yasuda N, Ikegami Y, Matsui H. Analysis of the changes in progressive speed during 100-meters dash. In: Komi PV, editor. *Biomechanics V-B.* Baltimore: University Park Press; 1976. p. 200-7.

102. Doolittle, Tellez. Sprinting. From start to finish. *Track Field Quart Rev.* 1984;84(2):5-8.

103. Muller H, Hommel H. Biomechanical research project at the VI World Championship in Athletics, Athens 1997. *New Stud Athlet.* 1997;12(2-3):43-73.

104. Ae M, Ito A, Suzuki M. The men's 100 meters. *New Stud Athlet.* 1992;7:47-52.

105. Winter DA. *Biomechanics and motor control of human movement* 3rd ed. New York: Wiley-Interscience; 2005.

106. Slocum DB, James SL. Biomechanics of running. *J Am Med Assoc.* 1968;205:721-8.
107. Bartlett R. Sport and exercise biomechanics. En: Bartlett R, editor. *Biomechanical analysis of movement in sport and exercise.* Leeds: Bases; 1997.
108. Bartlett R. *Introduction to Sports Biomechanics.* London: Chapman and Hall; 1997.
109. Hoffman K. Stride length and frequency of female sprinters. *Track Tech.* 1972;48:1522-4.
110. Hoffman K. Stature, leg length, and stride frequency. *Track Tech.* 1971;46:1463-9.
111. Ito A, Komi PV, Sjodin B, Bosco C, Karlsson J. Mechanical efficiency of positive work in running at different speeds. *Med Sci Sports Exerc.* 1983;15(4):299-308.
112. Cavanagh PR, Kram R. The efficiency of human movement-a statement of the problem. *Med Sci Sports Exerc.* 1985 Jun;17(3):304-8.
113. Hay JG. *The Biomechanics of Sports Techniques.* 4th ed. London: Prentice Hall International; 1993.
114. Chu D, Korchemny R. Sprinting stride actions: Analysis and evaluation. *NSCA J.* 1993;15(1):48-53.
115. Mero A, Luhtanen P, Komi P, Susanka P. Kinematics of top sprint (400m) running in fatigued conditions. *Track Field Quart Rev.* 1988;88(42-45).
116. Mero A, Luhtanen P. A Biomechanical study of the sprint start. *Scand J Sports Sci.* 1983;5(1):20-8.
117. Mero A, Luhtanen P, Viitasalo J, Komi PV. Relationships between the maximal running velocity, muscle fiber characteristic, force production and force relaxation of sprinters. *Scand J Sports Sci.* 1981;3(1):16-22.

118. Vardaxis V, Hoshizaki TB. Power patterns of the leg during the recovery phase of the sprinting stride for advanced and intermediate sprinters. *Int J Sports Biomech.* 1989;5:332-49.
119. Cavanagh P, Kram R. Mechanical and muscular factors affecting the efficiency of human movement. *Med Sci Sports Exerc.* 1985;3(326-321).
120. Armstrong LE, Cooksey SM. Biomechanical changes in selected collegiate sprinter due to increased velocity. *Track Field Quart Rev.* 1983;83(2):10-4.
121. Kunz H, Kauffman DA. Biomechanical analysis of sprinting: decathletes versus champions. *Brit J Sports Med.* 1981;15:177-81.
122. Mann R. The biomechanical analysis of sprinters. *Track Tech.* 1986;94:3000-3.
123. Cavagna GA, Saibene FP, Margaria R. Mechanical work in running. *J Appl Physiol.* 1964;19:249-56.
124. Osterhoudt RG. A cinematographic analysis of selected aspects of the running stride of experienced track athletes at various speeds and on different slopes [Mater's Thesis]. University Park: Pennsylvania State University; 1968.
125. Amar J. *The Human Motor.* New York: Dutton; 1920.
126. Fenn WO. Frictional and kinetic factors in the work of sprint running. *Amer J Physiol.* 1930;92:583-611.
127. Mann R, Sprague P. Kinetics of sprinting. *Track Field Quart Rev.* 1983;83(2):4-14.
128. Korchemny R. Training with the objective to improve stride length. *NSCA J.* 1988;10(2):21-5.
129. Kunz H, Kauffman DA. How the best sprinters differ. *Track Tech.* 1980;90:2549-50.

130. Hinrichs R, Cavanagh P, Williams K. Upper extremity function in running. 1: Centre of mass and propulsion consideration. *Int J Sport Biomech.* 1987;3(222-241).
131. Mann RA, Moran GT, Dougherty SE. Comparative electromyography of the lower extremity in jogging, running and sprinting. *Am J Sports Med.* 1986;14:501-10.
132. Mann RA, Hagy J. Biomechanics of walking, running, and sprinting. *Am J Sports Med.* 1980 Sep-Oct;8(5):345-50.
133. Jacobs R, van Ingen Schenau GJ. Intermuscular coordination in a sprint push-off. *J Biomech.* 1992 Sep;25(9):953-65.
134. Merni F, Cicchella A, Bombardi F, Ciacci S, Magenti L, Olmucci S, et al. Kinematic and dynamic analysis of sprint start. En: Rodano R, editor. *ISBS '92 Proceedings of the 10th Symposium of the International Society of Biomechanics in Sports.* Milan, Italy: Edi-Ermes; 1992. p. 120-3.
135. Hoshikawa T, Matsui H, Miyashita M. Analysis of running pattern in relation to speed. En: Cerquidini S, Venerando A, Wartenweiler J, editores. *Medicine and Sport, Biomechanics III.* Basel: Karger; 1973. p. 342-8.
136. Sinning WC, Forsyth HL. Lower limb actions while running at different velocities. *Med Sci Sports Exerc.* 1970;2:28-34.
137. Fenn WO. Work against gravity and work due to velocity changes in running. *Amer J Physiol.* 1930;93:433-62.
138. Hoshikawa T, Miyashita M, Matsui H. The relationship between step-length, step-frequency, and the speed of walking or running. En: Matsui H, editor. *Review of our Researches, 1970-1973.* Nagoya, Japan: Dept. Phys. Educ., University of Nagoya; 1971.

139. Frishberg BA. An analysis of overground and treadmill sprinting. *Med Sci Sports Exerc.* 1983;15(6):478-85.
140. Paradisis GP, Cooke CB, Newton J, Bissas AI. The effects of combined uphill-d downhill training on sprint performance. *J Sports Sci.* 1996;14(1):96.
141. Slater-Hammel A. Possible neuromuscular mechanisms as limiting factors for rate of leg movement in sprinting. *Res Quart.* 1941;12:745-56.
142. Simoneau JA, Bouchard C. Genetic determinism of fiber type proportion in human skeletal muscle. *FASEB J.* 1995;19:1091-5.
143. Nilsson J, Thorstensson A, Halbertsma J. Changes in leg movements and muscle activity with speed of locomotion and mode of progression in humans. *Acta Physiol Scand.* 1985 Apr;123(4):457-75.
144. Van Ingen Schenau GJ, De Koning JJ, De Groot G. Optimisation of sprinting performance in running, cycling and speed skating. *Sports Med.* 1994;17:259-75.
145. Wood GA. Optimal performance criteria and limiting factors in sprint running. *New Stud Athlet.* 1986;2:55-63.
146. Armstrong LE, Costill DL, Gehlsen G. Biomechanical comparison of university sprinters and marathon runners. *Track Tech.* 1984;87:2781-2.
147. Hunter J, Marshall R, McNair P. Interaction of step length and step rate during sprint running. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36(2):261-71.
148. Hay JG. Cycle rate, length, and speed of progression in human locomotion. *J Appl Biomech.* 2002;18:257-70.
149. Mann R, Sprague P. A kinetic analysis of the ground leg during sprint running. *Res Quart Exerc Sport.* 1980;51:334-48.

150. Mero A. Force-time characteristics and running velocity of male sprinters during the acceleration phase of sprinting. *Res Quart Exerc Sports*. 1988;59(2):94-8.
151. Mero A, Komi PV. Reaction time and electromyographic activity during a sprint start. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1990;61(1-2):73-80.
152. McInnis A. In quest of speed-Improving forward body lean in the sprint start and early acceleration phase. *Track Field Quart Rev*. 1980;80:25-31.
153. Mann RA. Biomechanical analysis of the elite sprinter and hurdler. En: Butts NK, Gushiken TT, Zarins B, editores. *The Elite Athlete*. Jamaica, NY: Spectrum Publications; 1985. p. 43-80.
154. Mero A, Komi PV. Effects of supramaximal velocity on biomechanical variables in sprinting. *Int J Sport Biomech*. 1985;1:240-52.
155. Balsevich VK, Luzgin VN. The dominant indication of sporting ability and its use for top levels sprinters selection. *Snipes J*. 1986;9:20-3.
156. Sprague P, Mann RV. The effects of muscular fatigue on the kinetics of sprint running. *Res Quart Exerc Sports*. 1983;54:60-6.
157. Mero A, Komi PV, Rusko H, Hirvonen J. Neuromuscular and anaerobic performance of sprinters at maximal and supramaximal speed. *Int J Sports Med* 1987;8:60.
158. Mero A, Luhtanen P, Komi PV. Segmental contribution to velocity of center of gravity during contact at different speeds in male and female sprinters. *J Hum Movement Stud*. 1986;12:215-35.
159. Ferro A, Rivera A, Pagola I. Biomechanical analysis of the 7th World Championship in Athletics, Seville 1999. *New Stud Athlet*. 2001;16(1/2):25-60.

160. Costill DL, Miller SJ, Myers WC, Kehoe FM, Hoffman WM. Relationship among selected test of explosive leg strength and power. *Res Quart.* 1968;39(3):785-7.
161. Dick F. *Sports training principles*. 3rd ed. London: A&C Black; 1997.
162. Knuttgen HG, Komi PV. Basic considerations for exercise. En: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. Oxford: Blackwell scientific publications; 2003. p. 3-7.
163. Tan B. Manipulating resistance training program variables to optimize maximum strength in men: a review. *J Strength Cond Res.* 1999;13:289-304.
164. Wernbom M, Augustsson J, Thomee R. The influence of frequency, intensity, volume and mode of strength training on whole muscle cross-sectional area in humans. *Sports Med.* 2007;37(3):225-64.
165. Wilkie DR. The relation between force and velocity in human muscle. *J Physiol.* 1950;110:249-80.
166. Fenn WO, Marsh BS. Muscular force at different speeds of shortening. *J Physiol.* 1935;85:277-97.
167. Hill AV. The heat of shortening and dynamic constants of muscle. *Proc R Soc B.* 1938;125 136-95.
168. Tihanyi J, Apor P, Fekete G. Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1982;48(3):331-43.
169. Hunter J, Marshall R, Mcnair P. Relationships between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *J Appl Biomech.* 2005;21:31-43.
170. Sleivert G, Taingahue M. The relationship between maximal jump-squat power and sprint acceleration in athletes. *Eur J Appl Physiol.* 2004 Jan;91(1):46-52.

171. 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;89:1991-9.
172. Cavagna GA, Komarek L, Mazzoleni S. The mechanics of sprint running. *J Physiol.* 1971;217:709-21.
173. Wiemann K, Tidow G. Relative activity of hip and knee extensors in sprinting - implications for training. *New Stud Athlet.* 1995;10(1):29-49.
174. Arampatzis A, Bruggemann GP, Klapsing GM. Leg stiffness and mechanical energetic processes during jumping on a sprung surface. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Jun;33(6):923-31.
175. Bosco C, Saggini R, Viru A. The influence of different floor stiffness on mechanical efficiency of leg extensor muscle. *Ergonomics.* 1997 Jun;40(6):670-9.
176. Arampatzis A, Schade F, Bruggemann GP. Effect of the pole--human body interaction on pole vaulting performance. *J Biomech.* 2004 Sep;37(9):1353-60.
177. Arampatzis A, Stafilidis S, Morey-Klapsing G, Bruggemann GP. Interaction of the human body and surfaces of different stiffness during drop jumps. *Med Sci Sports Exerc.* 2004 Mar;36(3):451-9.
178. Moritz CT, Greene SM, Farley CT. Neuromuscular changes for hopping on a range of damped surfaces. *J Appl Physiol.* 2004 May;96(5):1996-2004.
179. Stafilidis S, Arampatzis A. Track compliance does not affect sprinting performance. *J Sports Sci.* 2007 Jul 5:1-12.
180. Linthorne N. The effect of wind on 100-m sprint times. *J Appl Biomech.* 1994;10(2):110-31.
181. Dapena J, Feltner ME. Effects of wind and altitude on the times of 100-meter sprint races. *J Appl Biomech.* 1987;3:6-39.

182. Ward-Smith AJ. A mathematical analysis of the influence of adverse and favourable winds on sprinting. *J Biomech.* 1985;18(5):351-7.
183. Ward-Smith AJ. A mathematical theory of running, based on the first law of thermodynamics, and its application to the performance of world-class athletes. *J Biomech.* 1985;18(5):337-49.
184. Linthorne N. Wind assistance in the 100m sprint. *Track Tech.* 1994:4049-51.
185. Quinn MD. The effects of wind and altitude in the 200 m sprint. *J Appl Biomech.* 2003;19(1):49-59.
186. Quinn MD. The effects of wind and altitude in the 400-m sprint. *J Sports Sci.* 2004 Nov-Dec;22(11-12):1073-81.
187. Ross WD, Hebbelinck M, Van Gheluwe B, Lemmens ML. Kinanthropométrie et interprétation de l'erreur de mesure. *Kinanthropologie.* 1972;4:23-4.
188. Fujii K, Demura S, Matsuzawa J. Optimum onset period for training based on maximum peak velocity of height by wavelet interpolation method in Japanese high school athletes. *J Physiol Anthropol Appl Human Sci.* 2005 Jan;24(1):15-22.
189. De Garay A, Levine L, Carter J. *Genetic and Anthropological Studies of Olympic Athletes.* New York; 1974.
190. Ismail AH, Christian JE, Kessler WV. Body composition relative to motor aptitude for preadolescent boys. *Res Q.* 1963;34:463-70.
191. Meckel Y, Atterbom H, Grodjinovsky A, Ben-Sira D, Rotsein A. Physiological characteristics of female 100 meter sprinters of different performance levels. *J Sports Med Phys Fitness.* 1995;35:169-75.
192. Barnes WS. Selected physiological characteristics of elite male sprint athletes. *J Sports Med* 1981;21:49-54.

193. Hoshikawa Y, Muramatsu M, Iida T, Uchiyama A, Nakajima Y, Kanehisa H, et al. Influence of the Psoas Major and Thigh Muscularity on 100-m Times in Junior Sprinters. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38(12):2138–43.
194. Kawakami Y, Abe T, Kuno SY, Fukunaga T. Training-induced changes in muscle architecture and specific tension. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995;72(1-2):37-43.
195. Alegre L. Cambios en la arquitectura y biomecánica del músculo esquelético tras un entrenamiento de fuerza explosiva. Toledo: Universidad de Castilla-La Mancha; 2004.
196. Kanehisa H, Funato K, Kuno S, Fukunaga T, Katsuta S. Growth trend of the quadriceps femoris muscle in junior Olympic weight lifters: an 18-month follow-up survey. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89:238–42.
197. Kanehisa H, Nemoto I, Fukunaga T. Strength capabilities of knee extensor muscles in junior speed skaters. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41:46–53.
198. Kano Y, Kuno S, Katsuta S, Miyajima M. Morphological feature of thigh muscle on elite junior sprinter. *Med Sci Sports Exerc.* 1994;26:S97.
199. Hakkinen K, Keskinen KL. Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristics in elite strength- and endurance-trained athletes and sprinters. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1989;59(3):215-20.
200. Kumagai K, Abe T, Brechue WF, Ryushi T, Takano S, Mizuno M. Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinter. *J Appl Physiol.* 2000;88:811-6.
201. Abe T, Kumagai K, Brechue WF. Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2000 Jun;32(6):1125-9.
202. Kuitunen S, Komi PV, Kyrolainen H. Knee and ankle joint stiffness in sprint running. *Med Sci Sports Exerc.* 2002 Jan;34(1):166-73.

203. Brughelli M, Cronin J. A review of research on the mechanical stiffness in running and jumping: methodology and implications. *Scand J Med Sci Sports*. 2008.
204. Farley CT, González O. Leg stiffness and stride frequency in human running. *J Biomech*. 1996;29:181-6.
205. McMahon TA, Cheng GC. The mechanics of running: how does stiffness couple with speed? *J Biomech*. 1990;23 Suppl. 1:65-78.
206. Farley CT, Morgenroth DC. Leg stiffness primarily depends on ankle stiffness during human hopping. *J Biomech*. 1999 Mar;32(3):267-73.
207. Nielsen J, Sinkjaer T, Toft E, Kagamihara Y. Segmental reflexes and ankle joint stiffness during co-contraction of antagonistic ankle muscles in man. *Exp Brain Res*. 1994;102(2):350-8.
208. Weiss PL, Hunter IW, Kearney RE. Human ankle joint stiffness over the full range of muscle activation levels. *J Biomech*. 1988;21(7):539-44.
209. Arampatzis A, Bruggemann GP, Metzler V. The effect of speed on leg stiffness and joint kinetics in human running. *J Biomech*. 1999;32:1349-53.
210. Luhtanen P, Komi PV. Force-, power-, and elasticity-velocity relationships in walking, running, and jumping. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1980;44(3):279-89.
211. Chelly SM, Denis C. Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001;33:326-33.
212. Stefanyshyn DJ, Nigg BM. Dynamic angular stiffness of the ankle joint during running and sprinting. *J Appl Biomech*. 1998;14:292-9.
213. Farley CT, Houdijk HH, Van Strien C, Louie M. Mechanism of leg stiffness adjustment for hopping on surfaces of different stiffnesses. *J Appl Physiol*. 1998 Sep;85(3):1044-55.

214. Mero A, Komi PV. Electromyographic activity in sprinting at speeds ranging from sub-maximal to supra-maximal. *Med Sci Sports Exerc.* 1987 Jun;19(3):266-74.
215. Komi PV. Biomechanical features of running with special emphasis on load characteristics and mechanical efficiency. En: Nigg BM, Ken B, editores. *Biomechanical aspects of sport shoes and playing surface.* Calgary: University of Calgary; 1983. p. 123-34.
216. Belli A, Kyrolainen H, Komi PV. Moment and power of lower limb joints in running. *Int J Sports Med.* 2002 Feb;23(2):136-41.
217. Bret C, Rahmani A, Dufour AB, Messonnier L, Lacour JR. Leg strength and stiffness as ability factors in 100 m sprint running. *J Sports Med Phys Fitness.* 2002 Sep;42(3):274-81.
218. Tidow G. Aspects of strength training in athletics. *New Stud Athlet.* 1990;5(1):93-110.
219. Jonhagen S, Ericson MO, Nemeth G, Eriksson E. Amplitude and timing of electromyographic activity during sprinting. *Scand J Med Sci Sports.* 1996 Feb;6(1):15-21.
220. Dietz V, Schmidtbleicher D, Noth J. Neural mechanisms of human locomotion. *J Neurophysiol.* 1979;42:1212-22.
221. Chu DA, Korchemny R. Sprinting stride action: Analysis and evaluation. *Nat Strength Cond Assoc J.* 1989;11(6):6-8, 81-4.
222. Bompa TO. *Periodization of strength.* Toronto, ON: Vertas Publishing; 1993.
223. Matviev L. *El entrenamiento deportivo.* La Habana: Editorial Científico Técnica; 1977.

224. Grosser M. Entrenamiento de la velocidad. Fundamentos, métodos y programas. Madrid: Marínez Roca; 1992.
225. Weineck J. Entrenamiento total. Barcelona: Paidotribo; 2005.
226. Harre D. Principles of sports training: Introduction to theory and methods of training. Berlin: Sportverlag; 1982.
227. Platonov VN. El entrenamiento deportivo, teoría y metodología. 4ª Edición ed. Barcelona: Paidotribo; 1995.
228. Vasconcelos A. Planificación y organización del entrenamiento deportivo. Barcelona: Paidotribo; 2000.
229. Colli R, Faina M, Lupo S, Gallozi C, Marini C. La preparazione nei giochi sportivi. Sds-Scuola dello sport. 1988;7(14):31-41.
230. Young W. The planning of resistance training for power sports. Nat Strength Cond Assoc J. 1991;13(4):26-9.
231. Cronin J, McNair PJ, Marshall RN. Velocity specificity, combination training and sport specific tasks. J Sci Med Sport. 2001;4(2):168-78.
232. DeRenne C, Kwok WHO, Murphy JC. Effects of general, special, and specific resistance training on throwing velocity in baseball: a brief review. J Strength Cond Res. 2001;15(1):148-56.
233. Young WB. Transfer of strength and power training to sports performance. Inter J Sports Physiol Performance. 2006.
234. Sale D, MacDougall D. Specificity in strength training: a review for the coach and athlete. Can J Appl Sport Sci. 1981;16(2):87-92.
235. Siff MC, Verkhoshansky YV. Supertraining. Denver, Col: Supertraining International; 1999.
236. Ozolin N. How to improve speed. En: Jarver J, editor. Sprints and relays. Los Altos, CA: TAFNEWS Press; 1978. p. 55-6.

237. Miller J. Burst of speed. South Bend, IN: Icarus Press; 1984.
238. Jacobs I, Esbjörnsson M, Sylvén C, Hom I, Jansson E. Sprint training effects on muscle myoglobin, enzymes, fiber types, and blood lactate. *Med Sci Sports Exerc.* 1987;19:368-74.
239. Allemeier CA, Fry AC, Johnson P, Hikida RS, Hagerman FC, Staron RS. Effects of sprint cycle training on human skeletal muscle. *J Appl Physiol.* 1994 Nov;77(5):2385-90.
240. Nummela A, Rusko H, Mero A. EMG activities and ground reaction forces during fatigued and nonfatigued sprinting. *Med Sci Sports Exerc.* 1994 May;26(5):605-9.
241. McFarlane B. A look inside the Biomechanics and Dynamics of Speed. *Nat Strength Cond Assoc J.* 1987;9(5):35-41.
242. Schmidtbleicher D. Training for power events. En: Komi PV, editor. *Strength and power in sport.* Oxford: Blackwell; 1992. p. 381-95.
243. Carroll TJ, Riek S, Carson RG. Neural adaptations to resistance training. Implications for movements control. *Sports Med.* 2001;31(12):829-40.
244. Sale DG. Influence of exercise and training on motor unit activation. *Exerc Sport Sci Rev.* 1987;15:95-151.
245. Behm DG. Neuromuscular implications and applications of resistance training. *J Strength Cond Res.* 1995;9(4):264-74.
246. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. A comparison of strength and power characteristics between power lifters, olympic lifters, and sprinters. *J Strength Cond Res.* 1999;13(1):58-66.
247. Voigt M, Klausen K. Changes in muscle strength and speed of an unloaded movement after various training programmes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990;60(5):370-6.

248. Goldspink G. Cellular and molecular aspects of adaptations in skeletal muscle. En: Komi PV, editor. *Strength and power in sport*. London: Blackwell; 2003.
249. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1993 Nov;25(11):1279-86.
250. Dintiman GB. Effects of various training programs on running speed. *Res Quart*. 1964;35(4):456-63.
251. Behm DG, Sale DG. Velocity specificity of resistance training. *Sports Med*. 1993 Jun;15(6):374-88.
252. Sale DG. Neural adaptation to strength training. En: Komi PV, editor. *Strength and Power in Sport*. Oxford: Blackwell Science; 2003. p. 281-314.
253. Baker D, Nance S. The relation between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *J Strength Cond Res*. 1999;13:230-5.
254. Baker D, Nance S, Moore M. The load that maximizes the average mechanical power output during explosive bench press throws in highly trained athletes. *J Strength Cond Res*. 2001 Feb;15(1):20-4.
255. Stone MH, O'Bryant HS, McCoy L, Coglianese R, Lehmkuhl M, Schilling B. Power and maximum strength relationships during performance of dynamic and static weighted jumps. *J Strength Cond Res*. 2003 Feb;17(1):140-7.
256. Baker D. Comparison of upper-body strength and power between professional and college-aged rugby league players. *J Strength Cond Res*. 2001 Feb;15(1):30-5.
257. Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ, Wilson GJ, Kraemer WJ, Hakkinen K. Influence of load and stretch shortening cycle on the kinematics,

kinetics and muscle activation that occurs during explosive upper-body movements. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1997;75(4):333-42.

258. Harris GR, Stone MH, O'Bryant HS, Proulx CM, Johnson RL. Short term performance effects of high speed, high force or combined weight training. *J Strength Cond Res*. 2000;14:14-20.

259. Stone MH. Explosive exercises: Position stance. *Nat Strength Cond Assoc J*. 1993;15(4):7-15.

260. Baker D. Improving vertical jump performance through general, special and specific strength training: A brief review. *J Strength Cond Res*. 1996;10:131-6.

261. Newton RU. Developing explosive muscular power: Implications for a mixed methods training strategy. *Strength Cond*. 1994:20-31.

262. Sale D, Norman R. Testing strength and power. En: Mac-Dougall J, Wenger H, Green H, editores. *Physiological testing of the elite athlete*. Ithaca, N.Y.: Movement Publications; 1982. p. 7-34.

263. Gollhofer A, Schmidtbleicher D. Muscle activation patterns of human leg extensors and force-time characteristics in jumping exercises under increased stretch loads. En: DeGroot G, Hollander A, Huijing P, Van Ingen Schenau G, editores. *Biomechanics XI-A*. Amsterdam: Free University Press; 1988. p. 143-7.

264. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res*. 2002 Feb;16(1):75-82.

265. Nardone A, Schieppati M. Shift of activity from slow to fast muscle during voluntary lengthening contractions of the triceps surae muscles in humans. *J Physiol*. 1988;395:363-81.

266. Sapliuskas JS, Chobatas MA, Yashchaninas II. The time of completed motor acts and impulse activity of single motor units according to the training

level and sport specialisation of tested persons. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1980;20:529-39.

267. Desmedt JE, Godaux E. Fast motor units are not preferentially activated in rapid voluntary contractions in man. *Nature*. 1977;267 (5613):717-9.

268. Gregor RJ, Edgerton VR, Perrine JJ, Champion DS, DeBus C. Torque-velocity relationships and muscle fiber composition in elite female athletes. *J Appl Physiol*. 1979 Aug;47(2):388-92.

269. Locatelli E. The importance of anaerobic glycolysis and stiffness\* in the sprints (60, 100, and 200 metres). *New Stud Athlet*. 1996;11(2-3):121-5.

270. Komi PV. Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*. 2000 Oct;33(10):1197-206.

271. Cavagna GA. Storage and utilization of elastic energy in skeletal muscle. *Exerc Sport Sci Rev*. 1977;5:89-129.

272. Kubo K, Kanehisa H, Kawakami Y, Fukunaga T. Elasticity of tendon structures of the lower limbs in sprinters. *Acta Physiol Scand*. 2000;168:327-35.

273. Hennessy L, Kilty J. Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *J Strength Cond Res*. 2001 Aug;15(3):326-31.

274. Bosco C. La fuerza muscular. Aspectos metodológicos. Barcelona: Inde; 2000.

275. Young W. Sprint bounding and the sprint bound index. *Nat Strength Cond Assoc J*. 1992;14(4):18-21.

276. Rimmer E, Sleivert G. Effects of a plyometrics intervention program on sprint performance. *J Strength Cond Res*. 2000;14(3):295-301.

277. Harman EA, Rosenstein MT, Frykman PN, Rosenstein RM. The effects of arms and countermovement on vertical jumping. *Med Sci Sports Exerc.* 1990 Dec;22(6):825-33.
278. Bosco C, Rusko, Hirvonen. The effect of extra-load conditioning on muscle performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc.* 1986;18:415-9.
279. Komi PV, Bosco C. Utilization of stored elastic energy in leg extensor muscles by men and women. *Med Sci Sports.* 1978 Winter;10(4):261-5.
280. Kukolj M, Ropret R, Ugarkovic D, Jaric S. Anthropometric, strength, and power predictors of sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 1999 Jun;39(2):120-2.
281. Young W, McLean B, Ardagna J. Relationship between strength qualities and sprinting performance. *J Sports Med Phys Fitness.* 1995;35(1):13-9.
282. Hirvonen J, Rehunen S, Rusko H, Harkonen M. Breakdown of high-energy phosphate compound accumulation of lactate during short-term supra-maximal exercises. *Eur J Appl Physiol.* 1987;56:253-9.
283. Bogdanis GC, Nevill ME, Lakomy HK, Boobis LH. Power output and muscle metabolism during and following recovery from 10 and 20 s of maximal sprint exercise in humans. *Acta Physiol Scand.* 1998 Jul;163(3):261-72.
284. Hautier CA, Wouassi D, Arsac LM, Bitanga E, Thiriet P, Lacour JR. Relationships between postcompetition blood lactate concentration and average running velocity over 100-m and 200-m races. *Eur J Appl Phys.* 1994;68(6):508-13.
285. Locatelli E, Arsac L. The mechanics and energetics of the 100m sprint. *New Stud Athlet.* 1995;10(1):81-7.
286. Mense S. Nervous outflow from skeletal muscle following chemical noxious stimuli. *J Physiol.* 1977;267:75-88.

287. Gandevia SC, Allen GM, McKenzie DK. Central Fatigue: critical issues, quantification and practical implications. En: Gandevia SC, Enoka RM, McComas AJ, al. e, editores. *Fatigue: neural and muscular mechanisms*. New York, NY: Plenum; 1995. p. 495-514.
288. Penfold L, Jenkins D. Training for speed. En: Reaburn P, Jenkins D, editores. *Training speed and endurance*. St Leonards, NSW: Allen and Unwin; 1996. p. 24-41.
289. Kivi DMR, Alexander MJL. A kinematic comparison of the running A and B drills with sprinting. *Track Coach*. 2000;150:4782-3; 8.
290. McFarlane B. A basic and advanced technical model for speed. *Nat Strength Cond Assoc J*. 1993;15(5):57-61.
291. Jarver J. Sprinting in a nutshell. En: Jarver J, editor. *Sprints and Relays*. Altos, CA: TAFNEWS Press; 1978. p. 9-13.
292. Cunningham M. Pure speed training. *Track & Field Coaches Rev*. 2001;74(2):26-8.
293. Lohman W. Correcting sprinting faults. En: Jarver J, editor. *Sprints and Relays*. Los Altos, CA: TAFNEWS Press; 1978. p. 29-34.
294. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL. Determining the optimal load for sprint training with sled towing. *J Strength Cond Res*. In press.
295. Murphy AJ, Lockie RG, Coutts A. Kinematic determination of early acceleration in field sport athletes. *J Sports Sci Med*. 2003;2:144-50.
296. Pauletto B. The speed chute. *Nat Strength Cond Assoc J*. 1991;13(4):47-8.
297. Pauletto B. Maximizing speed with speed chute. *Scholastic Coach*. 1991;60(2):50-1.
298. Breizer V, Tabatashnik B, Ivanov V. Running with a parachute. *Modern Athlete & Coach*. 1990;28:5-6.

299. Bosco C. Adaptive response of human skeletal muscle to simulated hypergravity condition. *Acta Physiol Scand.* 1985 Aug;124(4):507-13.
300. Bosco C, Zanon S, Rusko H, Dal Monte A, Bellotti P, Latteri F, et al. The influence of extra load on the mechanical behavior of skeletal muscle. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1984;53(2):149-54.
301. Lejeune TM, Willems PA, Heglund NC. Mechanics and energetics of human locomotion on sand. *The Journal of Experimental Biology.* 1998;201:2071-80.
302. Harrison AJ, Jensen RL, McCabe CB. The effects of sand dune and hill running on lower limb kinematics and running speed in elite sprinters. En: Hermann S, editor. *XXII ISBS Symposium 2004; 2004; Ottawa: International Society of Sports Biomechanis; 2004.* p. 87-90.
303. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL, Linthorne N. Effects of a sand running surface on the kinematics of sprinting at maximum velocity. Sin publicar.
304. Paradisis GP, Cooke CB. Kinematic and postural characteristics of sprint running on sloping surfaces. *J Sports Sci.* 2001;19:149-59.
305. Dintiman GB. Acceleration and Speed. En: Foran B, editor. *High-performance sports conditioning Champaign, Ill: Human Kinetics; 2001.* p. 176-9.
306. ACSM. Position stand: The recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:975-91.
307. ACSM. Position stand: Progression models in resistance training for healthy adults. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(2):364-80.
308. Lindh M. Increase of muscle strength from isometric quadriceps exercises at different knee angles. *Scand J Rehabil Med.* 1979;11:33-6.

309. Rutherford OM, Jones DA. The role of learning and coordination in strength training. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1986;55(1):100-5.
310. Andersen JL, Klitgaard H, Saltin B. Myosin heavy chain isoforms in single fibres from m. vastus lateralis of sprinters: influence of training. *Acta Physiol Scand*. 1994 Jun;151(2):135-42.
311. Blazevich A. Resistance Training for sprinters (part1): Theoretical considerations. *Strength & Conditioning Coach*. 1997;4(3):9-12.
312. Verkhoshansky Y, Lazarev VV. Principles of planning speed and strength/speed endurance training in sports. *NSCA J*. 1989;11(2):58-61.
313. Mayhew J, Bembem M, Piper F, Ware J, Rohrs D, Bembem D. Assessing bench press power in college football players: the seated shot put. *J Strength Cond Res*. 1993;7(2):95-100.
314. Doherty T, Campagna P, Urdang M. The effect of periodization isotonic and hydraulic resistance training on maximal force and muscular endurance. *J Appl Sport Sci Res*. 1989;3(3):77-8.
315. Blazevich AJ, Jenkins DG. Effect of the movement speed of resistance training exercises on sprint and strength performance in concurrently training elite junior sprinters. *J Sports Sci*. 2002 Dec;20(12):981-90.
316. Jones K, Bishop P, Hunter G, Fleisig G. The effects of varying resistance-training loads on intermediate- and high-velocity-specific adaptations. *J Strength Cond Res*. 2001;15(3):349-56.
317. Hunter J, Marshall R, McNair P. Reliability of biomechanical variables of sprint running. *Med Sci Sports Exerc*. 2004;36(5):850-61.
318. Morin JB, Dalleau G, Kyrolainen H, Jeannin T, Belli A. A simple method for measuring stiffness during running. *J Appl Biomech*. 2005 May;21(2):167-80.

319. Bompa TO. A model of an annual training programme for a sprinter. *New Stud Athlet.* 1991;6(1):47-51.
320. Heineman K. Introducción a la metodología de la investigación empírica. Barcelona: Paidotribo; 2003.
321. Thomas JR, Nelson JK, Silverman SJ. *Research methods in physical activity.* Champaign, Il: Human Kinetics; 2005.
322. Alcaraz PE, Palao JM. Medios y métodos de entrenamiento de los especialistas en velocidad y pruebas combinadas de la Región de Murcia. *Kronos.* 2007;6(11):53-60.
323. Ericsson KA. How the expert-performance approach differs from traditional approaches to expertise in sports. En: Starkes J, Ericsson KA, editores. *Expert performance in sport: Recent advances in research on sport expertise.* Champaign, Il; 2003. p. 371-401.
324. Jackson AS, Baumgartner TA. Measurement schedules of sprint running. *Res Quart.* 1969 Dec;40(4):708-11.
325. Alcaraz PE, Sánchez-Lorente J, Blazevich AJ. Physical Performance And Cardiovascular Responses To An Acute Bout Of Heavy Resistance Circuit Training Vs. Traditional Strength Training. *J Strength Cond Res.* 2008;22(3):667-71.
326. Dugan EL, Doyle TL, Humphries B, Hasson CJ, Newton RU. Determining the optimal load for jump squats: a review of methods and calculations. *J Strength Cond Res.* 2004 Aug;18(3):668-74.
327. Pincivero DM, Lephart SM, Karunakara RG. Relation between open and closed kinematic chain assessment of knee strength and functional performance. *Clin J Sport Med.* 1997 Jan;7(1):11-6.

328. Montgomery LC, Douglass LW, Deuster PA. Reliability of an isokinetics test of muscle strength and endurance. *J Orthop Sports Phys Ther.* 1989;10:315-22.
329. Elvira JLL, Rodriguez IG, Riera MM, Jodar XA. Comparative study of the reliability of three jump test with two measurement systems. *J Hum Movement Studies.* 2001;41(5):369-83.
330. Harris RC, Edwards RH, Hultman E, Nordesjo LO, Nyling B. The time course of phosphorylcreatine resynthesis during recovery of the cuadriceps muscle in man. *Pflugers Arch.* 1976;367:137-42.
331. Ferro A. La carrera de velocidad. Metodología de análisis biomecánico. Madrid: Esteban Sanz; 2001.
332. de Leva P. Adjustments to Zatsiorsky-Seluyanov's segment inertia parameters. *J Biomech.* 1996 Sep;29(9):1223-30.
333. Abdel-Aziz YI, Karara HM. Direct Linear transformation from comparator coordinates into object space coordinates in close-range photogrammetry. En: *Photogrammetry ASo*, editor. *Proceedings ASP/ VI Symposium on close-range photogrammetry.* Falls Church, V.A.; 1971. p. 1-18.
334. Winter DA. *Biomechanics and motor control of human movement.* 2nd ed. New York, N.Y.: Wiley-Interscience; 1990.
335. Izquierdo M, Hakkinen K, Gonzalez-Badillo JJ, Ibanez J, Gorostiaga EM. Effects of long-term training specificity on maximal strength and power of the upper and lower extremities in athletes from different sports. *Eur J Appl Physiol.* 2002 Jul;87(3):264-71.
336. Housh TJ, Thorland WG, Tharp GD, Johnson GO, Cisar CJ. Isokinetic leg flexion and extension strength of elite adolescent female track and field athletes. *Res Quart Exerc Sports.* 1984;55(4):347-50.

337. Bosco C. La valoración de la fuerza con el test de Bosco. Barcelona: Paidotribo; 1994.
338. Komi PV. Physiological and biomechanical correlates of muscle function: effects of muscle structure and Stretch-Shortening Cycle on force and speed. *Exerc Sport Sci Rev.* 1984;12:81-121.
339. Kulig K, Andrews JG, Hay JG. Human strength curves. *Exerc Sport Sci Rev.* 1984;12:417-66.
340. Blount J, Hoskinsson JL, Korchemny R. Summary of results from TAC junior elite sprint camp. *Track Tech.* 1990;113:3593-8.
341. Ferragut Fiol C. Biomecánica del salto vertical. Las Palmas de Gran Canaria: Universidad de Las Palmas de Gran Canaria; 2003.
342. Asmussen E, Bonde-Petersen F. Storage of elastic energy in skeletal muscle in man. *Acta Physiol Scand.* 1974;91:385-92.
343. Gilliam TB, Sady SP, Freedson PS, Villanacci J. Isokinetic torque levels for high school football players. *Arch Phys Med Rehabil.* 1979 Mar;60(3):110-4.
344. Winter DA, Wells RP, Orr G. Errors in the use of isokinetic dynamometers. *Eur J Appl Phys.* 1981;46:397-408.
345. Farrar M, Thorland W. Relationship between isokinetic strength and sprint times in college-age men. *J Sports Med.* 1987;27:368-72.
346. Esparza F. Manual de cineantropometría. Navarra: Femedé; 1993.
347. De Rose EH, Guimaraes AC. A model for optimization of somatotype in young athletes. En: Ostin M, Buenen G, Simons J, editores. *Kinanthropometry II.* Baltimore: University Park Press; 1980.
348. Faulkner JA. Physiology of swimming and diving. En: Falls H, editor. *Exercise physiology.* Baltimore: Academic Press; 1968.

349. Carter JEL. The Heath-Carter anthropometric somatotype. Instruction manual. San Diego: San Diego State University; 2002.
350. McNair DM, Lorr M, Droppleman LF. Profile of Mood States Manual. San Diego, CA: Educational and Industrial Testing Services; 1971.
351. Alcaraz PE, Palao JM, Elvira JLL. Determining the optimal load for resisted sprint training with sled towing. A pilot study. XXV ISBS Symposium; 2007; Ouro Preto. Brazil: ISBS; 2007.
352. Kraemer WJ, Marchitelli L, Gordon SE, Harman E, Dziados JE, Mello R, et al. Hormonal and growth factor responses to heavy resistance exercise protocols. *J Appl Physiol.* 1990;69:1442-50.
353. Loebel CC, Kraemer WJ. A brief review: Testosterone and resistance exercise in men. *J Strength Cond Res.* 1998;12:57-63.
354. Linossier MT, Denis C, Dormois D, Geysant A, Lacour JR. Ergometric and metabolic adaptation to a 5-s sprint training programme. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1993;67(5):408-14.
355. Saito Y, Nagahara R, Ae M, Matsuo A. Evaluation of speed change in 100 m sprint running. En: Kwon YH, Shim J, Shim JK, Shin IS, editores. XXVI International Conference on Biomechanics in Sports. Seoul, Korea: ISBS; 2008.
356. Bezodis IN, Salo AIT, Kerwin DG. A longitudinal case study of step characteristics in a world class sprint athlete. En: Kwon YH, Shim J, Shim JK, Shin IS, editores. XXVI International Conference on Biomechanics in Sports. Seoul, Korea: ISBS; 2008.
357. Bompa TO. Periodización del entrenamiento deportivo. Barcelona: Paidotribo; 2000.
358. Corn RJ, Knudson D. Effect of Elastic-cord towing on the kinematics of the acceleration phase of sprinting. *J Strength Cond Res.* 2003;17(1):72-5.

359. Rahmani A, Viale F, Dalleau G, Lacour JR. Force/velocity and power/velocity relationships in squat exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2001 Mar;84(3):227-32.
360. Blazeovich AJ, Jenkins D. Predicting sprint running times from isokinetics and squat lift test: A regression analysis. *J Strength Cond Res.* 1998;12(2):101-3.
361. Dowson MN, Nevill ME, Lakomy HKA, Nevill AM, Hazeldine RJ. Modelling the relationship between isokinetic muscle strength and sprint running performance. *J Sports Sci.* 1998;16:257-65.
362. Young WB, Pryor JF, Wilson GJ. Effects of instructions on characteristics of countermovement and drop jump performance. *J Strength Cond Res.* 1995;9(4):232-6.
363. Izquierdo M, Hakkinen K, Anton A, Garrues M, Ibanez J, Ruesta M, et al. Maximal strength and power, endurance performance, and serum hormones in middle-aged and elderly men. *Med Sci Sports Exerc.* 2001 Sep;33(9):1577-87.
364. Bompa TO. Variations of periodization of strength. *Strength Cond.* 1996:58-61.
365. Kamen G. Aging, resistance training, and motor unit discharge behavior. *Can J Appl Physiol.* 2005;30(3):341-51.





---

## 10. ANEXOS



## ANEXOS

Los anexos se encuentran en el CD adjunto al documento. El orden de presentación de los mismos es el siguiente:

|                      |  |
|----------------------|--|
| <b>Anexo 1</b> ..... | Diario de entrenamiento grupo experimental |
| <b>Anexo 2</b> ..... | Diario de entrenamiento grupo control      |
| <b>Anexo 3</b> ..... | Consentimiento informado                   |
| <b>Anexo 4</b> ..... | Figuras resultados individuales            |