

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA – ESPAÑA  
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERIA**

**Laboratorio de Ciencias Morfofuncionales del Deporte (Medicina)**

**PROGRAMA DE DOCTORADO: ESTUDIOS AVANZADOS EN CIENCIAS  
APLICADAS A LA ACTIVIDAD FISICA Y EL DEPORTE**

Línea de Investigación: *Ciencias aplicadas a la Actividad Física y el Deporte  
(Deporte y Salud)*  
adscrita al programa de doctorado: *Metodología de Investigación científica en  
Ciencias de la Salud*



**Desarrollo de la fuerza explosiva durante un macrociclo de  
entrenamiento en un equipo de fútbol profesional**

**Juan Manuel Ramírez Pistón**

2014

TITULO: *Desarrollo de la fuerza explosiva a través de un programa de ejercicios físicos durante un macro ciclo de entrenamiento en un equipo de fútbol profesional.*

AUTOR: *Juan Manuel Ramírez Pistón*

---

© Edita: Servicio de Publicaciones de la Universidad de Córdoba. 2014  
Campus de Rabanales  
Ctra. Nacional IV, Km. 396 A  
14071 Córdoba

[www.uco.es/publicaciones](http://www.uco.es/publicaciones)  
[publicaciones@uco.es](mailto:publicaciones@uco.es)

---

**UNIVERSIDAD DE CORDOBA – ESPAÑA  
FACULTAD DE MEDICINA Y ENFERMERIA**

**Laboratorio de Ciencias Morfofuncionales del Deporte (Medicina)**

**PROGRAMA DE DOCTORADO: ESTUDIOS AVANZADOS EN CIENCIAS  
APLICADAS A LA ACTIVIDAD FISICA Y EL DEPORTE**

Línea de Investigación: *Ciencias aplicadas a la Actividad Física y el Deporte  
(Deporte y Salud)*  
adscrita al programa de doctorado: *Metodología de Investigación científica en  
Ciencias de la Salud*

## **Desarrollo de la fuerza explosiva durante un macrociclo de entrenamiento en un equipo de fútbol profesional**



Tesis para la colación del grado de **Doctor**  
por la **Universidad de Córdoba** que presenta el Licenciado  
**JUAN MANUEL RAMIREZ PISTON**

### **Directores**

Prof. Dr. José Luis Lancho Alonso  
Dr. D. Víctor Manuel Núñez Álvarez  
y Profa. Dra. María S. Poblador Fernández

Córdoba, 2014



**TÍTULO DE LA TESIS: DESARROLLO DE LA FUERZA EXPLOSIVA DURANTE UN MACROCICLO DE ENTRENAMIENTO EN UN EQUIPO DE FÚTBOL PROFESIONAL**

**DOCTORANDO: JUAN MANUEL RAMIREZ PISTON**

**INFORME RAZONADO DEL/DE LOS DIRECTOR/ES DE LA TESIS**

(se hará mención a la evolución y desarrollo de la tesis, así como a trabajos y publicaciones derivados de la misma).

La tesis doctoral ha evolucionado conforme al cronograma previsto y con el desarrollo adecuado conforme la planificación de entrenamiento y las características de la población estudiada, jugadores de fútbol profesional.

Se han aplicado los instrumentos adecuados tanto técnicos como estadísticos.

Una parte de los resultados han sido aceptados para su publicación en la revista **The Journal Strength and Conditioning Research** cuyos datos de calidad se incluyen en un capítulo del volumen de la tesis. El título del artículo es: ***“Velocity based training of lower limb to improve absolute and relative power outputs in concentric phase of half-squat in soccer players”***. Fue aceptado en febrero de este año y su publicación está muy próxima.

Otra parte está siendo revisada en la revista **International Journal of Sports Physiology and Performance** y se espera su aceptación. Título: ***Effects of back half-squat training on the eccentric and concentric power outputs in a well trained sample of professional soccer players***.

El asunto planteado es de completa actualidad y los resultados tienen una aplicación práctica inmediata con efectos beneficiosos en el entrenamiento de fútbol.

Tanto su metodología correcta como los resultados y lógicas conclusiones y aplicación práctica avalan la calidad de la tesis.

En consecuencia, se autoriza la presentación de la Tesis Doctoral

Córdoba, 25 de Julio de 2014

Firma del/de los director/es

Fdo.-Profa. Dra. María S. Poblador

Fdo.- Prof. Dr. José Luis Lancho Alonso

Fdo.- Dr. Víctor M. Núñez Pérez

A María, mi esposa, y Juanma, maravilloso hijo;  
sois la piedra angular sobre la que se cimientan los pilares del  
presente y futuro.

Agradezco a la vida, por haberme permitido culminar esta etapa de estudio y otorgarme el raciocinio, conocimiento y capacidad para entender el sacrificio y responsabilidad que significa compaginar el período formativo con el laboral.

*A ti, por tu amor, confianza y apoyo incondicional para transmitirme todo en la vida, aunque faltó una lección: como vivir sin ti.*

A mi hermana, sobrino y cuñado por tener vuestro apoyo en los momentos de desosiego.

A mi padre, por sus retadores comentarios que siempre hicieron superarme.

A mis abuelos y tíos (Manuela y Antonio); siempre habéis estado presentes a lo largo de mi aprendizaje.

A mi padre académico, orientador y amigo, quien siempre me brindó su confianza y se hizo merecedor de mi estímulo y respeto.

A los directores de mi tesis, Dr. Lancho, Dr. Núñez y Dra. Poblador, cuyos sabios conocimientos supieron orientar mi trabajo de tesis por el camino acertado.

Gracias a todas aquellas personas que, de un modo u otro, han contribuido para que mi formación personal y profesional sea capaz de ponerla al servicio de la sociedad. Incluso, quienes de forma anónima han ayudado a la finalización de este trabajo.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen .....	11
Abstract .....	12
I. Introducción.....	13
I.1 Planteamiento del problema.....	14
I.2 Puesta en común de conceptos .....	16
I.3 Fisiología del entrenamiento de fuerza en los jugadores de fútbol .....	22
I.4 Entrenamiento de la fuerza y potencia .....	24
I.5 Intensidad del entrenamiento .....	27
I.6 Entrenamiento de la fuerza: efecto sobre la contracción excéntrica y concéntrica .....	31
II. El entrenamiento de fuerza y potencia en jugadores de fútbol: una revisión de la literatura .....	34
III. Justificación, Objetivos e Hipótesis .....	40
IV. Metodología.....	43
IV.1 Diseño de investigación.....	44
IV.2 Participantes.....	44
IV.3 Protocolo experimental.....	45
IV.4 Medidas.....	47
IV.5 Instrumento.....	50
V. Resultados .....	52
V.1 Descriptivos antropometría.....	53
V.2 Descriptivos repeticiones, potencia y fatiga .....	54
V.3 Descriptivos plataforma Bosco .....	55
V.4 Descriptivos de potencia, fuerza y velocidad .....	56
V.5 Comparación de la eficacia sobre las fases excéntrica y concéntrica .....	59
V.6 Relación de los efectos del programa de entrenamiento sobre la potencia, fuerza y velocidad con los parámetros antropométricos y la agilidad.....	60

VI.	Comentarios y discusión .....	63
VII.	Conclusiones .....	68
VIII.	Aplicaciones Prácticas.....	70
IX.	Indicios de Calidad .....	72
X.	Bibliografía .....	82

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación de la fuerza. ....	17
Tabla 2. Ecuación general de potencia. ....	17
Tabla 3. Tipos de contracciones musculares y su relación con el ejercicio, el trabajo producido y la función de la contracción (adaptado de Plowman y Smith, 2013). ....	19
Tabla 4. Fórmula de Lewis. ....	20
Tabla 5. Características y propiedades de los tipos del músculo esquelético. Fundamentado en: Tesch (1984), Andersen, Klitgaard, Bangsbo y Saltin (1994), Robergs y Roberts (1997), Kraemer, Fleck y Evans (1996), Hakkinen y Kraemer (2001), Carter, Rennie y Hamilton (2001), entre otros. ....	23
Tabla 6. Clasificación de los tipos de entrenamiento en función del volumen y la intensidad (Giebing, Preuss, Greiwing, Goebel, Müller, Schischek, et al 2005). Nota: Las iniciales que designan el volumen e intensidad del entrenamiento proceden de los nombres en inglés. ...	28
Tabla 7. Estadísticos descriptivos de parámetros antropométricos y pruebas de normalidad. ....	53
Tabla 8. Estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y efectividad del programa de entrenamiento sobre el número de repeticiones, par de potencia y fatiga. a: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b: Prueba t de Student para muestras relacionadas. ....	54
Tabla 9. Estadísticos descriptivos y pruebas de normalidad de altura de salto, agilidad y elasticidad. Efecto del programa de entrenamiento sobre altura del salto y elasticidad (pruebas de rango con signo de Wilcoxon). ....	55
Tabla 10. Estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y efecto del programa de entrenamiento sobre los valores de fuerza, potencia y velocidad concéntrica. a: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b: Prueba t de Student para muestras relacionadas. ....	57
Tabla 11. Estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y efecto del programa de entrenamiento sobre los valores de fuerza, potencia y velocidad excéntrica. a: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b: Prueba t de Student para muestras relacionadas. ....	58
Tabla 12. Comparación de la eficacia del programa de entrenamiento en las fases excéntrica y concéntrica del ejercicio. a. Prueba t de Student para dos muestras relacionadas; b. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon. ....	59
Tabla 13. Correlaciones de Pearson para estudiar la relación lineal de los parámetros antropométricos, agilidad y efecto del programa de entrenamiento sobre la potencia, fuerza y velocidad excéntrica. ....	60

Tabla 14. Correlaciones de Pearson para estudiar la relación lineal de los parámetros antropométricos, agilidad y efecto del programa de entrenamiento sobre la potencia, fuerza y velocidad concéntrica.....	61
Tabla 15. Correlaciones de Pearson para estudiar la relación lineal de los parámetros antropométricos, agilidad y efecto del programa de entrenamiento sobre la altura de salto, elasticidad, repeticiones, par de potencia y fatiga. ....	62



## Resumen

**Antecedentes:** la potencia, y sus parámetros relacionados fuerza y velocidad, son habilidades físicas determinantes en el rendimiento en el terreno de juego de los futbolistas. Existen numerosos protocolos de entrenamiento de la potencia consistentes en ejercicios con cargas externas próximas a 1RM. Sin embargo, el uso de cargas elevadas somete a altas tensiones al sistema músculo-esquelético, lo que puede dar lugar a la aparición de lesiones.

**Objetivos:** analizar la eficacia de un protocolo de entrenamiento de la fuerza en jugadores de fútbol. Otros objetivos: a) analizar la eficacia sobre el número de repeticiones, par de potencia y fatiga; b) describir el efecto sobre la capacidad de salto y elasticidad; c) evaluar el efecto sobre las fases excéntrica y concéntrica del ejercicio.

**Métodos:** diseño experimental longitudinal de grupo único, formado por 19 jugadores de fútbol (edad 23,4 años, SD = 3,7 yr), que participó en un protocolo de entrenamiento de la potencia, consistente en 2 macrociclos con 2 sesiones de entrenamiento por semana durante 10 semanas en cada macrociclo, dirigidos a trabajar la potencia de las piernas mediante la realización de media sentadilla con carga externa fija ( $M = 71,7$  kg;  $Dt = 5.4$ ), en el 65% de 1 RM. Las mediciones de potencia (absoluta-W-, y relativa -W/kg-), fuerza (N) y velocidad (m/s) (media y máxima) se realizaron en las dos fases del movimiento, concéntrica y excéntrica, mediante la plataforma Bosco®.

**Resultados:** El protocolo de entrenamiento incrementa la potencia explosiva ( $\Delta SJ = 1,39$  cm,  $Dt = 2,75$ ,  $p = 0,042$ ;  $\Delta CMJ = 2,58$  cm,  $Dt = 3,48$ ,  $p = 0,012$ ;  $\Delta CMJas = 3,16$  cm,  $Dt = 4,09$ ,  $p = 0,009$ ), los parámetros de potencia, fuerza y velocidad en la fase concéntrica ( $\Delta P = 169,16$ ,  $Dt = 98,27$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta P_{max} = 124,30$ ,  $Dt = 193,23$ ,  $p = 0,014$ ;  $\Delta F = 66,59$ ,  $Dt = 37,80$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta V = 0,07$ ,  $Dt = 0,05$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta P_{rel} = 2,32$ ,  $Dt = 1,38$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta F_{rel} = 0,91$ ,  $Dt = 0,52$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta P_{max\ rel} = 1,75$ ,  $Dt = 2,58$ ,  $p = 0,011$ ) y excéntrica ( $\Delta P = 170,59$ ,  $Dt = 158,36$ ,  $p = 0,001$ ;  $\Delta P_{max} = 192,91$ ,  $Dt = 150,21$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta F = 67,08$ ,  $Dt = 54,73$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta V = 0,06$ ,  $Dt = 0,07$ ,  $p = 0,001$ ;  $\Delta P_{rel} = 2,28$ ,  $Dt = 2,04$ ,  $p = 0,001$ ;  $\Delta F_{rel} = 0,90$ ,  $Dt = 0,71$ ,  $p < 0,001$ ;  $\Delta P_{max\ rel} = 2,61$ ,  $Dt = 1,94$ ,  $p < 0,001$ ). El resto de parámetros (elasticidad y fatiga) no se ven afectados por el protocolo. No se han encontrado diferencias de eficacia entre las fases excéntrica y concéntrica.

**Conclusión:** la aplicación de macrociclos de entrenamiento de la fuerza con carga moderada ha incrementado la fuerza, potencia y velocidad en las fases excéntrica y concéntrica del ejercicio. Esto podría ser importante para mejorar el rendimiento de los jugadores en el campo, así como para evitar lesiones.

**Palabras clave:** potencia, fuerza, velocidad, potencia explosiva, fútbol.

## Abstract

**Background:** power, and their related parameters strength and speed, are crucial for performance in the field of the soccer players. There are numerous power training protocols with external loads next to 1RM. However, the use of high loads highly stresses to the musculoskeletal system, which can lead to the development of injuries.

**Objectives:** To analyze the effectiveness of a protocol for strength training in soccer players. Other objectives: a) To analyze the effectiveness on the number of repetitions, power torque and fatigue; b) To describe the effect on jumping ability and elasticity; c) To evaluate the effect on the eccentric and concentric phases of the exercise.

**Methods:** A longitudinal experimental, only group, design, of 19 soccer players (age 23.4 years, SD = 3.7 yr), who participated in a training protocol of power, of 2 macrocycles with 2 workouts per week for 10 weeks. Macrocycles led to work the leg power by performing half-squat with fixed external load ( $M = 71.7\text{kg}$ , SD = 5.4) at 65% of 1RM. Measurements (absolute-W-, and relative -W/kg-) of power, force (N) and speed (m/s) (average and maximum) were performed in both phases of the movement, concentric and eccentric one, by Bosco® platform.

**Results:** The training protocol increases the explosive power ( $\Delta\text{SJ} = 1.39\text{ cm}$ , Dt = 2.75,  $p = 0.042$ ;  $\Delta\text{CMJ} = 2.58\text{ cm}$ , Dt = 3.48,  $p = 0.012$ ;  $\Delta\text{CMJas} = 3.16\text{ cm}$ , Dt = 4.09,  $p = 0.009$ ), the parameters of power, strength and speed in the concentric phase ( $\Delta P = 169.16$ , Dt = 98.27,  $p < 0.001$ ;  $\Delta P_{\text{max}} = 124.30$ , Dt = 193.23,  $p = 0.014$ ;  $\Delta F = 66.59$ , Dt = 37.80,  $p < 0.001$ ;  $\Delta V = 0.07$ , Dt = 0.05,  $p < 0.001$ ;  $\Delta P_{\text{rel}} = 2.32$ , Dt = 1, 38,  $p < 0.001$ ;  $\Delta F_{\text{rel}} = 0.91$ , Dt = 0.52,  $p < 0.001$ ;  $\Delta P_{\text{máx rel}} = 1.75$ , Dt = 2.58,  $p = 0.011$ ) and eccentric ( $\Delta P = 170.59$ , Dt = 158.36,  $p = 0.001$ ;  $\Delta P_{\text{max}} = 192.91$ , Dt = 150.21,  $p < 0.001$ ;  $\Delta F = 67.08$ , Dt = 54.73,  $p < 0.001$ ;  $\Delta V = 0.06$ , Dt = 0, 07,  $p = 0.001$ ;  $\Delta P_{\text{rel}} = 2.28$ , Dt = 2.04,  $p = 0.001$ ;  $\Delta F_{\text{rel}} = 0.90$ , Dt = 0.71,  $p < 0.001$ ;  $\Delta P_{\text{máx rel}} = 2.61$ , Dt = 1.94,  $p < 0.001$ ). The remaining parameters (elasticity and fatigue) are not affected by the protocol. No differences in efficacy were found between the eccentric and concentric phases.

**Conclusion:** The application of macrocycles for strength training with moderate load has increased strength, power and speed in the eccentric and concentric phases of the exercise. This could be important to improve the performance of the players on the field as well as to prevent injuries.

**Keywords:** power, strength, speed, explosive power, soccer

# I. Introducción

## I.1 Planteamiento del problema

El fútbol es un deporte que se caracteriza por una actividad física intermitente que exige de los participantes la aplicación de un conjunto de capacidades aeróbicas y anaeróbicas de diferente intensidad. La principal actividad física que se realiza es la carrera, debiendo necesitar en muchos momentos del partido esfuerzos explosivos tales como sprint, salto, lucha por el balón, patadas y otros que son importantes para alcanzar un alto rendimiento durante el juego. Estos esfuerzos están relacionados con la fuerza máxima y la capacidad anaeróbica del sistema neuromuscular, más particularmente de las extremidades inferiores. El incremento de la fuerza disponible para la contracción muscular en los músculos o grupos musculares apropiados, así como el aumento de la velocidad y de la aceleración son habilidades fundamentales para el fútbol, ya que permiten una mayor capacidad para el salto, la carrera, los cambios de ritmo o los giros, habilidades que se consideran críticas para los futbolistas de élite.

Los programas de entrenamiento de la potencia y la fuerza están compuestos de una serie de ejercicios que, tradicionalmente, incluyen:

*a) la acción de los músculos o grupos musculares que se quieren entrenar; b) la resistencia o carga utilizada; c) el volumen, o número de series y repeticiones; d) el ejercicio seleccionado y su estructura o diseño; e) la secuencia de realización del ejercicio; f) los intervalos de descanso entre series; g) la velocidad de repetición y h) la frecuencia de entrenamiento.*

La manipulación de una o varias de estas variables afectará a los estímulos de entrenamiento y favorecerán, potencialmente y si se realizan de forma adecuada, las

condiciones necesarias para que los distintos programas de entrenamiento aumenten la fuerza, la velocidad y la potencia de los atletas. Por tanto, la prescripción del ejercicio de potencia adecuado implica la intervención sobre una o más de las variables mencionadas (Fleck y Kraemer, 2014).

La mayoría de las personas que quieren incrementar su rendimiento anaeróbico han basado sus programas de entrenamiento en la realización de ejercicios que utilizan una elevada resistencia externa (lo más próxima posible a 1RM) y, en consecuencia, pocas series y repeticiones a baja velocidad. Sin embargo, la realización de este tipo de ejercicio puede producir efectos perjudiciales sobre el organismo y el rendimiento deportivo, tales como dolor, pérdida de la flexibilidad, pérdida de fuerza y otro tipo de daños en el sistema locomotor, principalmente de los músculos y articulaciones sometidos a grandes esfuerzos (Gleeson, Eston, Marginson y McHugh, 2003; Ploutz-Sneider, Tesch y Dudley, 1998).

Por este motivo, es necesaria la implementación de protocolos de entrenamiento que tengan en cuenta estas consecuencias con el fin de incluir ejercicios que produzcan un incremento de la potencia sin sobrecargar el sistema músculo-esquelético.

El problema de investigación consiste en la evaluación de la implementación de un protocolo de entrenamiento de la potencia que tenga una alta efectividad sobre los resultados de fuerza y potencia de futbolistas de élite y que no produzca una sobrecarga en el sistema músculo-esquelético de estos deportistas, para lo cual se realizará la evaluación de un programa de entrenamiento basado en la velocidad con una carga intermedia de las extremidades inferiores.

## I.2 Puesta en común de conceptos

El rendimiento deportivo es el resultado de una combinación de factores que incluye, en primer lugar, la capacidad del organismo para realizar determinadas acciones, aunque también deben ser tenidas en cuenta las variables de tipo psicológico o motivacional, así como los aspectos técnicos-deportivos. En todo caso, el elemento básico es la activación muscular, que proporciona la fuerza y potencias necesarias para llevar a cabo determinados movimientos y desplazamientos contra resistencias externas. En consecuencia, parece necesario la previa aclaración y puesta en común de conceptos relacionados con la capacidad del organismo para realizar dicha actividad.

La Enciclopedia del Deporte<sup>1</sup> define la **fuerza** (*force* o *strength* en inglés) es lo que modifica el estado de reposo o de movimiento de la materia (Knutten y Komi, 2003). La fuerza, al igual que la velocidad, es producida por el músculo esquelético, parámetros que dependen de la mecánica muscular y de las dimensiones de la carga externa (Bosco, 2000).

La contracción muscular se produce porque cada músculo posee una cantidad determinada de unidades motoras que están controladas por las correspondientes terminaciones nerviosas, de tal manera que cuando una señal del cerebro es enviada a las fibras musculares éstas se contraen y posteriormente se relajan (Bosco, 2000).

Sin embargo, la fuerza muscular es un concepto complejo, que implica una gran variedad de definiciones (tabla 1) y su ejercicio está presente en una amplia tipología de programas de entrenamiento.

---

<sup>1</sup> Knuten y Komi (2003)

Tipo de fuerza	Definición
<b>Fuerza absoluta</b>	<i>Máxima cantidad de fuerza que puede producir un músculo cuando se han eliminado todos los mecanismos inhibidores y protectores.</i>
<b>Fuerza máxima</b>	<i>Máxima cantidad de fuerza que un músculo o un grupo de músculos puede producir en un ejercicio específico con una repetición, también conocido como 1RM. Se estima en un 80% de la fuerza absoluta.</i>
<b>Fuerza relativa</b>	<i>Es el cociente entre 1RM y su masa corporal. Este tipo de fuerza es importante para los jugadores de fútbol.</i>
<b>Potencia o fuerza en movimiento</b>	<i>Capacidad de mover el cuerpo o un organismo a una velocidad.</i>
<b>Fuerza de salida</b>	<i>Es la capacidad de generar una alta energía durante la fase inicial del movimiento.</i>
<b>Fuerza de aceleración</b>	<i>Capacidad de continuar generando una elevada potencia a lo largo de un ejercicio</i>
<b>Resistencia</b>	<i>Capacidad de mantener la producción de fuerza durante un largo tiempo o a través de múltiples repeticiones de un ejercicio.</i>

Tabla 1. Clasificación de la fuerza.

La definición de **potencia** está íntimamente relacionada con la de fuerza en cuanto que la potencia es la velocidad en la que el **trabajo** se lleva a cabo o la velocidad de transformación de la energía metabólica potencial en trabajo o calor (Knutten y Komi, 2003) (tabla 2), teniendo en cuenta que *trabajo* es un concepto equivalente a *fuerza*, ya que se trata de la energía necesaria para realizar el desplazamiento de un cuerpo mediante la aplicación de una fuerza (Moran y Shapiro, 2004).

$$\text{Potencia (P)} = \text{Trabajo (W)} / \text{Tiempo (t)}$$

Tabla 2. Ecuación general de potencia.

Por tanto, los ejercicios musculares dinámicos, debido a que se definen como aquéllos en los que se produce una contracción muscular que resulta en un movimiento del sistema músculo-esquelético, a diferencia de los isométricos, en los que la longitud del

músculo se mantiene constante (Plowman y Smith, 2013)<sup>2</sup>, se caracterizan por un determinado nivel de potencia que puede ser evaluado en cada momento de la realización del movimiento o como un promedio de cualquier segmento de un movimiento o serie de ejercicios (Knutten y Komi, 2003).

Las contracciones dinámicas producen o provocan el desplazamiento del miembro y, como consecuencia, aparece un aumento o disminución del ángulo articular (Knutten y Komi, 2003); se pueden dividir en dos tipos, en función del acortamiento o alargamiento del músculo:

#### *1.- Contracciones concéntricas*

cuando un músculo es capaz de producir un acortamiento contra una carga determinada, se produce una contracción denominada concéntrica. La fuerza desarrollada bajo una acción muscular concéntrica es siempre inferior a la máxima fuerza isométrica desarrollada a la óptima longitud del músculo (Brinckmann, Frobin y Leivseth, 2002). Este tipo de contracciones tienen como resultado una aceleración en el movimiento que está relacionado con un trabajo positivo de empuje de una carga determinada (Plowman y Smith, 2013). La máxima potencia desarrollada en la contracción concéntrica se estima que se produce a un tercio de la velocidad máxima de contracción (Brinckman et al 2002).

#### *2.- Contracciones excéntricas*

si un músculo es activado de tal manera que su longitud bajo una determinada carga aumenta, se produce una contracción excéntrica. Este tipo de movimiento está relacionado con un trabajo y una potencia negativas, debido a que el músculo absorbe energía (Brinckman et al 2002), siendo responsable, por lo tanto, de la deceleración. Durante una contracción excéntrica la fuerza muscular puede exceder sobradamente la máxima fuerza isométrica, siendo además superior a la fuerza producida por una contracción concéntrica y con un menor gasto energético (Plowan y Smith, 2013), aunque su ejercicio está relacionado con una mayor vulnerabilidad a las lesiones por daños musculares, agotamiento y daños en los sarcómeros (Peake, Suzuki, Hordern, Wilson, Nosaka y Coombes, 2005).

---

<sup>2</sup> Para una clasificación de las contracciones musculares, ver tabla 3.

Acción de la fibra o unidad motora	Tipo de contracción muscular	Trabajo producido	Función de la contracción
<b>Isotónica:</b> Producción de fuerza constante en acortamiento o alargamiento muscular	<b>Contracción concéntrica:</b> Fuerza muscular desarrollada durante el acortamiento del músculo para acomodarse al cambio en su longitud o en el ángulo articular mientras el miembro se desplaza a través del rango de movimiento	<b>Positivo</b> se produce un empuje de la carga externa (trabajo = fuerza x desplazamiento carga)	<b>Aceleración</b>
	<b>Contracción excéntrica:</b> Fuerza muscular desarrollada durante el alargamiento del músculo para acomodarse al cambio en su longitud o en el ángulo articular mientras el miembro se desplaza a través del rango de movimiento	<b>Negativo</b> la carga externa ayuda al alargamiento muscular (trabajo = fuerza x desplazamiento carga)	<b>Deceleración</b>
<b>Isocinético:</b> Velocidad constante en el acortamiento o alargamiento muscular	<b>Contracción isocinémica:</b> La tasa de desplazamiento del miembro es constante, variando la velocidad en función del ángulo articular	<b>Positivo o negativo</b>	<b>Aceleración o deceleración</b>
<b>Isométrico:</b> Longitud constante del músculo	<b>Contracción estática:</b> No existe desplazamiento del miembro, por lo que no existe rotación articular, aunque se producen pequeños acortamientos de las fibras musculares	<b>No existe trabajo</b> no hay desplazamiento de carga	<b>Estático</b>

Tabla 3. Tipos de contracciones musculares y su relación con el ejercicio, el trabajo producido y la función de la contracción (adaptado de Plowman y Smith, 2013).

Una cualidad que puede generar una ventaja competitiva en muchos deportes, es la capacidad para la potencia explosiva o máxima potencia anaeróbica, que es la habilidad para desarrollar la máxima fuerza en un breve período de tiempo.

Los movimientos necesarios para desarrollar la potencia explosiva se denominan *acciones balísticas*, también denominadas *preprogramadas*, se caracterizan porque el sistema motor es activado como un todo y no está controlado por la retroalimentación del sistema sensorial (Duchateau y Hainaut, 2003).

Cuando el movimiento se realiza de forma lenta, se convierte en acciones de flexibilidad activa, mientras que cuando se lleva a cabo de forma explosiva, se convierte en acciones balísticas (Norris, 2004). Estas acciones son importantes en cualquier actividad deportiva, ya que durante su ejecución es cuando se producen los niveles más altos de descarga de las unidades motoras, dando lugar a la máxima potencia. En este sentido, el entrenamiento balístico consiste en el levantamiento de resistencias ligeras o moderadas a gran velocidad (Kraemer y Häkkinen, 2004).

Uno de los principales criterios para evaluar la potencia explosiva es la capacidad de *salto vertical* (Rowland, 2005).

Desde su primera descripción por Sargent (1921), el salto vertical ha sido usado frecuentemente como una *medida adecuada de la potencia muscular explosiva*, a partir de la asunción que la energía necesaria para realizar un salto único a la máxima altura, requiere la utilización de las fuentes de energía anaeróbicas. Sin embargo, esta amplia utilización ha sido puesta en entredicho en diversas ocasiones dado que, por su naturaleza, el salto vertical posee la dimensión de trabajo (la distancia a través de la cual un cuerpo es movido por la aplicación de una fuerza), no así la de potencia (Tomkinson y Olds, 2008).

Para la transformación de estos parámetros en potencia suele aplicarse la conocida fórmula de Lewis (Harman, Rosenstein, Fykman, Rosenstein y Kraemer, 1991), para la que existe un algoritmo que permite identificar analógicamente la potencia mediante la utilización de un normograma (figura 1). Esta fórmula, que posteriormente ha sido modificada por diversos autores, fue propuesta originalmente de la siguiente forma:

$$\text{Potencia máxima (Kg/s)} = \sqrt{4,9} * \text{MC (Kg)} * \sqrt{D^n}$$

Tabla 4. Fórmula de Lewis.

MC es el peso corporal, y

$D^n$  es la distancia neta del salto, o diferencia entre la altura de estiramiento (altura del alcance del pie) y la altura máxima del salto en centímetros.

Esta fórmula ha sido modificada mediante la inclusión de la variable de la aceleración normal de la gravedad ( $9,8 \text{ m/s}^2$ )<sup>3</sup>, que permite utilizar unidades de potencia estandarizadas, en este caso vatios (W), (Harman, Rosenstein, Frykman, Rosenstein y Kraemer, 1988).

---

<sup>3</sup> La intensidad del campo gravitatorio, aceleración de la gravedad o, simplemente, gravedad, es la aceleración que sufriría un objeto en caída libre sobre otro. Puede interpretarse como la fuerza gravitatoria por unidad de masa. El concepto de aceleración de la gravedad es el más intuitivo, a diferencia de la propia fuerza. La gravedad sobre la superficie de un planeta típicamente esférico.

En el caso de la Tierra, a nivel del mar el valor aproximado es un valor convencional y coincide con el valor exacto de la magnitud medido en la ciudad alemana de Darmstadt.

El valor de la aceleración de la gravedad tiene su máximo en la superficie del planeta, disminuyendo de forma, aproximadamente, parabólica con la altura y de forma lineal con la profundidad: la aceleración de la gravedad en la Tierra varía según la altura.

A nivel del mar la gravedad es  $9.81 \text{ m/s}^2$ ; en La Paz (Bolivia) es  $9.78 \text{ m/s}^2$ .

En realidad, la gravedad es directamente proporcional al producto de las masas (tierra-cuerpo) e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia que los separa.

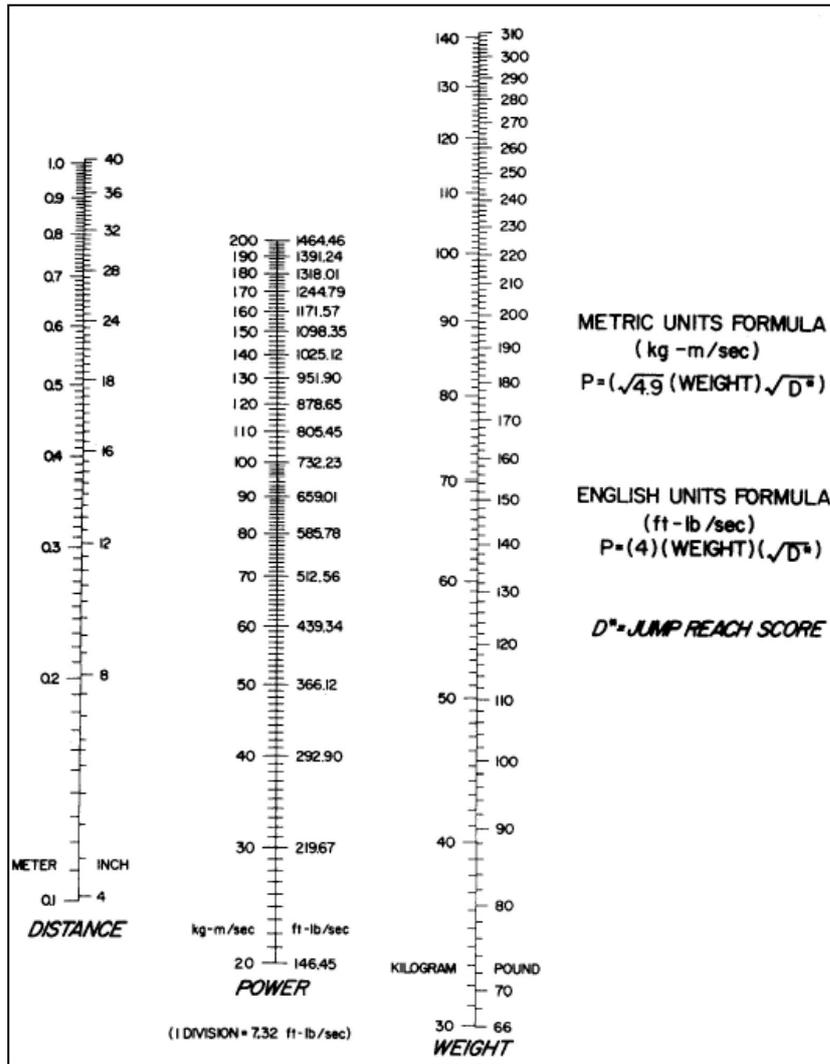


Figura 1.- Versión original del normograma de Lewis para la evaluación de la potencia (Fox y Mathews, 1974). Para determinar la potencia se traza una línea recta que una la altura del salto de la primera columna con el peso corporal de la tercera columna, resultando la intersección con la segunda columna el valor de la potencia.

Otras modificaciones han sido propuestas por Sayers, Harackiewicz, Harman, Frykman, y Rosenstein (1999) y Saltarelli (2009), quienes establecieron una ecuación de regresión para determinar la potencia máxima; a su vez, Adams (2002), calcula la potencia promedio en kilogramos-metro por segundo.

Las pruebas más utilizadas para evaluar la potencia explosiva son las siguientes:

- a) **Salto vertical con contramovimiento** (countermovement jump, **CMJ**), que se realiza mediante una flexión rápida de las rodillas con la mínima parada entre las fases excéntrica y concéntrica del movimiento para tomar impulso. Al terminar la

fase excéntrica, la rodilla debe formar un ángulo de 90°, desde donde se inicia la fase de impulso concéntrica, en la que el atleta debe procurar alcanzar la máxima altura posible. En esta modalidad, los brazos se mantienen estáticos detrás de la espalda para no producir una ayuda en la fase de impulso. Mediante el uso de una plataforma y un transductor de posición se puede registrar la fuerza del impulso así como la altura del salto, de tal manera que, a partir de esta información, se pueden obtener determinados valores relativos al pico de fuerza, la potencia de salida y el tiempo para producir dicha fuerza. El CMJ está asociado a una mayor altura de salto y manifestación de potencia debido a que permite ejercer mayor fuerza sobre la superficie de impulso.

- b) **Salto vertical con contramovimiento y swing de brazos** (countermovement jump with arm swing, **CMJas**), se realiza la misma técnica que en el salto CMJ, con la particularidad que en esta modalidad se permite hacer un movimiento de las extremidades superiores en la fase de impulso para ayudar el salto.
- c) **Salto vertical sin contramovimiento** (Squat jump, **SJ**), que consiste en la realización de un impulso vertical hacia arriba partiendo de una posición semiflexionada de piernas, con un ángulo de flexión de la rodilla de 90°. Las manos se fijan en las caderas para eliminar el impulso del movimiento de las extremidades superiores. A diferencia del salto con contramovimiento, no se produce el pre-estiramiento de los músculos y tendones, por lo que no se utiliza el potencial elástico procedente de dicho estiramiento, siendo la altura del salto significativamente menor.

### **I.3 Fisiología del entrenamiento de fuerza en los jugadores de fútbol**

La adaptación fisiológica del músculo esquelético al ejercicio se consigue porque es un tejido dinámico capaz de remodelarse en respuesta a cambios en sus demandas funcionales. A saber: hipertrofia, hiperplasia y transformación metabólica del tipo de fibra<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> La hipertrofia es el aumento significativo del tamaño de la fibra muscular. La hiperplasia puede ser debida: a) al fenómeno conocido como "splitting" o rajamiento, atribuido a un defecto de vascularización en el centro de la miofibrilla como consecuencia del aumento de la distancia por la hipertrofia previa; b) activación y migración de células satélites; c) diferenciación miogénica de células mesenquimatosas residentes en el tejido conectivo perimisial. Aunque todavía esta en controversia, la transformación de un tipo de fibra en otro es un hecho a tener en cuenta; se considera que, básicamente, las fibras tipo II se transforman en fibras tipo I, pero no al contrario, entendiéndose como una transformación metabólica y funcional más que un cambio estructural morfológico. Además, otros autores entre los que se encuentra Pette (1998), sostienen que un proceso degenerativo de las fibras musculares determina la substitución por otras, pero las neoformadas adquieren el nuevo tipo de fibra según el estímulo (entrenamiento) que provocó la degeneración previa.

Las fibras musculares esqueléticas se clasifican en dos categorías principales: de contracción lenta (tipo I) y las fibras de contracción rápida (tipo II). En la tabla 4 se resumen las características y propiedades de los tipos de fibras del músculo esquelético.

La fuerza generada por un músculo es dependiente de su tamaño y del tipo de fibra muscular.

El entrenamiento de fuerza en los jugadores de fútbol da lugar a una hipertrofia muscular (Bangsbo, 2003).

Propiedad	Fibra tipo I	Fibra tipo II (intermedia)	Fibra tipo II (rápida)
<b>Otros nombres</b>	Lenta, S, SO, roja	Ila, Fr, Intermedia	Ilb, Ff, rápida
<b>Diámetro transversal</b>	Pequeño	Intermedio	Ancho
<b>Tensión</b>	Baja	Intermedia	Lenta
<b>Velocidad de contracción</b>	Lenta	Intermedia	Rápida
<b>Resistencia a la fatiga</b>	Alta	Intermedia	Baja
<b>Color</b>	Rojo	Blanco	Blanco
<b>Contenido en mioglobina</b>	Alto	Bajo	Bajo
<b>Abastecimiento de capilares</b>	Grande	Intermedio	Escaso
<b>Enzimas glicolíticos en el retículo endoplásmico rugoso</b>	Bajo	Alto	Alto
<b>Mitocondrias</b>	Muchas	Intermedias	Algunas
<b>Substratos metabólicos</b>	Lípidos, hidratos de carbono y aminoácidos (aeróbico)	Principalmente hidratos de carbono (anaeróbico)	Hidratos de carbono (anaeróbico)

Tabla 5. Características y propiedades de los tipos del músculo esquelético. Fundamentado en: Tesch (1984), Andersen, Klitgaard, Bangsbo y Saltin (1994), Robergs y Roberts (1997), Kraemer, Fleck y Evans (1996), Hakkinen y Kraemer (2001), Carter, Rennie y Hamilton (2001), entre otros.

Se acepta que en los jugadores de fútbol de élite, la media del porcentaje de fibras de contracción lenta oscila entre 40 y 61% para el vasto externo y el 49-60% para los gemelos (Reilly, Bangsbo y Franks, 2000).

## I.4 Entrenamiento de la fuerza y potencia

El entrenamiento de la fuerza (*resistance training*, *strength training* o *weight training*) es aquel en el que se lleva a cabo un ejercicio que requiere el movimiento o el intento de movimiento de la musculatura contra una fuerza contraria, que suele presentarse por medio de algún objeto o instrumento (Fleck y Kraemer, 2014).

Las diferentes denominaciones responden a una variación de matices en el tipo de entrenamiento, ya que los términos entrenamiento de resistencia (*resistance training*) y entrenamiento de fuerza (*strength training*) aluden a un amplio conjunto de técnicas entre las que se incluyen los ejercicios que se valen del peso del propio cuerpo, el uso de bandas elásticas, ejercicios pliométricos o la carrera inclinada. Sin embargo, el término entrenamiento con peso (*weight training*) se utiliza exclusivamente para aquellos ejercicios en los que se ejercita la fuerza con pesos libres o anclados en alguna maquinaria.

La mayoría de los atletas incluyen el entrenamiento de la fuerza como una parte integrante de su entrenamiento general, no por el hecho de que la ganancia de fuerza les pueda llevar a levantar pesos mayores, sino porque el incremento de la fuerza y de la potencia que se consigue, mediante este tipo de entrenamiento, les puede llevar a lograr un mejor rendimiento específico en su actividad deportiva.

La guía de entrenamiento de Price (2005) incluye diversas técnicas para ejercitar el trabajo con carga. A saber:

- a) Entrenamiento hasta el fallo: en el que el atleta realiza un set de tantas repeticiones con una carga determinada hasta que no puede completar la última repetición.
- b) Repeticiones forzadas: se realizan después de haber entrenado hasta el fallo, mediante la ayuda de un asistente hasta completar las repeticiones.
- c) Repeticiones negativas: también, se realizan después de haber entrenado hasta el fallo. En este caso, con la ayuda de un asistente para levantar el peso en la fase concéntrica; se trata de controlar la fase excéntrica del movimiento, descendiendo el peso de forma más lenta.
- d) Superseries: se trata de realizar dos tipos de ejercicios de forma consecutiva y sin recuperación entre series.
- e) Triseries: equivalente a superseries, pero con la realización de tres ejercicios consecutivos.
- f) Pre-exhaustivo: se trata de una modalidad de superseries en la que se realizan muchas repeticiones de un mismo ejercicio seguido por un ejercicio que entrena los mismos músculos.

- g) Método de extracción: consiste en realizar un set de repeticiones hasta llegar al fallo. A continuación, se quita carga y se repite una serie de repeticiones hasta alcanzar el fallo.
- h) Método piramidal: se trata de realizar una serie de repeticiones con una determinada carga; a continuación se aumenta la carga y se realiza otra serie con menos repeticiones y así sucesivamente.

Habitualmente, se distingue entre los programas de entrenamiento de la fuerza y los de la potencia, dada la especificidad de los diferentes ejercicios, aunque en la práctica ambos tipos de entrenamientos están muy vinculados, por el hecho que los parámetros físicos implicados en la realización de los ejercicios son los mismos. Las diferencias adaptativas están relacionadas con la focalización del ejercicio en determinadas magnitudes físicas.

En los ejercicios de potencia se suele poner la atención en el desplazamiento de cargas durante un tiempo determinado, con el fin de incrementar la tasa de desarrollo de la fuerza, conforme la ecuación de la tabla 2.

El entrenamiento de la fuerza, utilizando cargas muy pesadas, no parece mejorar la tasa de desarrollo de la fuerza (Kraemer y Newton, 2000). Para que la fuerza se pueda traducir en trabajo y en una capacidad atlética, es preciso añadir al entrenamiento ejercicios pliométricos, utilizando resistencias ligeras o moderadas, tal y como se ha puesto de manifiesto por diversos autores, quienes indican que el entrenamiento balístico proporciona un poderoso estímulo para mejorar la producción de la potencia en atletas que están entrenados, especialmente en aquellos que reciben un entrenamiento de resistencia (Newton, Kraemer y Häkkinen, 1999; Wilson, Newton, Humphries y Murphy, 1993).

Según Newton, Cormie y Kraemer (2011) existen tres propiedades mecánicas del sistema neuromuscular que están relacionadas con el rendimiento de los atletas:

- a) La capacidad para desarrollar fuerza a la mayor velocidad posible.
- b) La propiedad muscular para producir elevados niveles de fuerza al terminar la fase excéntrica y al comenzar la fase concéntrica del movimiento.
- c) La capacidad muscular de continuar produciendo grandes cantidades de fuerza conforme la velocidad de la contracción concéntrica aumenta.

Hay varios factores que contribuyen al fortalecimiento de estas propiedades mecánicas del rendimiento (Hoffman, 2014). La mayoría de los movimientos de potencia incluyen un contramovimiento, que consiste en una primera fase de estiramiento y una segunda fase de rápido acortamiento del músculo, como ocurre por ejemplo al realizar un

salto vertical mediante una primera flexión de rodillas (CMJ). Este tipo de ejercicio tiene lugar en un ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC) que permite ejercer una mayor fuerza contra la superficie de salto, al contrario de lo que ocurre en el salto sin contramovimiento (SJ), por lo que el entrenamiento específico de esta capacidad proporcionará a los atletas una mayor potencia explosiva.

Hoffman (2014), indica que el entrenamiento de la potencia, caracterizado por menor carga y mayor velocidad podría tener, para el desarrollo de las capacidades atléticas, que son necesarias en deportes como el fútbol, una ventaja adaptativa sobre el entrenamiento específico de la fuerza con cargas pesadas, que se caracteriza además por una menor velocidad. Este beneficio adicional vendría dado por la mejora de la tasa de desarrollo de la fuerza, es decir, la capacidad de realizar un determinado trabajo en el menor tiempo posible.

Una forma de incrementar el desarrollo de la potencia en los entrenamientos de resistencia -que incluyen la realización de sentadillas de espalda con carga externa-, es la inclusión de movimientos balísticos (Hoffman, 2014), consistentes en realizar un movimiento de lanzamiento de una carga externa. En este caso, cuando el atleta que está realizando un ejercicio de fuerza con carga, como puede ser una barra en el caso de las sentadillas, en la fase de finalización de la fase concéntrica se ve obligado a decelerar el movimiento de la barra, lo que puede llegar a ocupar el 24% de dicha fase, aunque puede incrementarse al 52% si la carga es ligera. Esta circunstancia está asociada a un menor aprovechamiento del entrenamiento de la potencia. Si el atleta realiza un movimiento de lanzamiento de la barra, permitiendo el salto durante la realización del ejercicio, el potencial para el desarrollo de la potencia puede ser superior (Elliott, Wilson y Kerr, 1989 y Elliott, Wilson y Kerr, 1989).

Para Newton, Kraemer, Häkkinen, Humphries y Murphy (1996), la realización de un movimiento de lanzamiento durante la realización de press de banca, para estimular la potencia del tren superior, provoca un incremento de la activación muscular entre el 19 y el 44%.

Entonces, un tipo de actividad que tiene una gran importancia para los jugadores de fútbol es el entrenamiento de la potencia. Este tipo de entrenamiento se caracteriza por la aplicación de ejercicios musculares a alta velocidad destinados a incrementar la **potencia**, entendida como el **producto de la fuerza** (la capacidad de ejercitar la máxima fuerza) y la **velocidad**, por lo que la **potencia óptima** refleja **la rapidez a la que se puede ejercer una fuerza para producir el movimiento deseado**. En el aspecto físico, la potencia se define como la tasa a la cual el trabajo es realizado (Sandler, 2005). La meta del entrenamiento de potencia consiste en la elevación de cargas mediante un movimiento concéntrico tan rápido como sea posible. El número de series y repeticiones en este tipo de ejercicios es un híbrido del entrenamiento de fuerza y el de resistencia, considerándose que un número de

repeticiones entre 8 y 15 es el más adecuado, siendo la duración de los períodos de recuperación entre 45 y 90 segundos (Price, 2003).

Uno de los ejercicios que más se utilizan para el desarrollo de la potencia muscular es el denominado *pliométrico*. En la práctica, en los movimientos humanos, especialmente cuando la velocidad se encuentra implicada, las contracciones concéntricas y excéntricas de los músculos se suceden, siendo esta sucesión la que ha recibido el nombre de *pliometría* (Li, 2011).

Existe una sólida evidencia científica que indica que el entrenamiento pliométrico es una forma eficaz para desarrollar la fuerza y la velocidad de la contracción muscular (Saunders, Telford, Pyne, Peltola, Cunningham, Gore et al 2006; Malisoux, Fracaux, Nielens, Renard, Lebacqz y Theisen, 2006; Malisoux, Francaux, Nielens y Theisen, 2006). Otros estudios, además, han mostrado que el salto y la velocidad, dos cualidades básicas de los futbolistas, pueden ser mejoradas mediante el entrenamiento pliométrico (Rimmer y Sleivert, 2000; Diallo, Dore, Duche y van Praagh, 2001; Moore, Hickey y Reiser, 2005).

El entrenamiento pliométrico específico en futbolistas produce una mejora significativa en CMJ, SJ, salto de longitud, o medidas de agilidad y sprint (Meyla y Malatesta, 2009; Ramírez-Campillo, Meylan, Alvarez-Lepín, Henriquez-Olguín, Martínez, Andrade e Izquierdo, 2013). En concreto, se observa una mejora notable en la potencia de las extremidades inferiores y en la fuerza del extensor de la rodilla<sup>5</sup>, siendo menor la eficacia sobre la agilidad (Váczai, Tollár, Meszler, Juhász y Karsai, 2013). El entrenamiento pliométrico puede tener, además, un efecto positivo sobre determinadas capacidades relacionadas específicamente con el fútbol, como la fuerza del golpeo de balón, medida en términos de velocidad de la pelota (Marques, Pereira, Reis y van den Tillaar, 2013).

## **I.5 Intensidad del entrenamiento**

El diseño y evaluación de los programas de entrenamiento de la fuerza se ha basado normalmente en las pruebas de 1RM, que se aplicaban para conocer la máxima capacidad de carga para determinar el grado de fuerza de un atleta en el momento de la prueba. El término intensidad del ejercicio hace referencia a dos cosas diferentes: por un lado, describe la cantidad relativa de carga que se utiliza en un determinado ejercicio de fuerza y por otro, también designa la cantidad de esfuerzo necesario para la realización de un ejercicio (Giebing, 2005) (Tabla 6).

---

<sup>5</sup> Debe interpretarse como el músculo cuádriceps crural

<b>Volumen de entrenamiento</b>	
<b>SST</b>	Entrenamiento de una serie (single-set training): se realiza una única serie por ejercicio, que incluye la posibilidad de realizar más de un ejercicio para cada grupo muscular
<b>HIT</b>	Entrenamiento de alta intensidad (high-intensity training): es un entrenamiento en una única serie con una elevada carga justo por debajo de la necesaria para provocar el fallo en la contracción concéntrica. Se puede realizar uno o más ejercicios por grupo muscular.
<b>LVT</b>	Entrenamiento de poco volumen (low-volumen training): se realiza una o dos series por ejercicio, pudiéndose combinar dos o más ejercicios por grupo muscular.
<b>MST</b>	Entrenamiento multiserie (multiple-set training): el atleta realiza dos o más series por ejercicio con un descanso de al menos 30 s entre dos series consecutivas del mismo ejercicio.
<b>HVT</b>	Entrenamiento de elevado volumen (high-volume training): es un entrenamiento multiserie que consta de tres o más series por ejercicio y varios ejercicios por grupo muscular.
<b>Grados de intensidad de entrenamiento</b>	
<b>nRM</b>	Non repetitium maximum: se realiza un número específico de repeticiones en cada serie o en función del esfuerzo percibido mientras todavía son posibles repeticiones adicionales.
<b>RM</b>	<i>Repetitium maximum</i> : consiste en completar una serie de una o más repeticiones con la máxima carga hasta no permitir la realización de una nueva repetición.
<b>PMF</b>	Punto de fallo muscular momentáneo ( <i>point fo momentary muscular failure</i> ): consiste en realizar una serie de una o más repeticiones por encima de la carga para alcanzar el fallo en la contracción concéntrica, de tal manera que la última repetición no puede ser completada debido a la fatiga.
<b>PMF+</b>	Entrenamiento de alta intensidad adicional al momento de fallo muscular momentáneo: se trata de trabajar más allá del punto de fallo muscular momentáneo utilizando métodos de entrenamiento de alta intensidad como repeticiones forzadas, repeticiones con ayuda, etc.

Tabla 6. Clasificación de los tipos de entrenamiento en función del volumen y la intensidad (Giebing, Preuss, Greiwing, Goebel, Müller, Schischek, et al 2005). Nota: Las iniciales que designan el volumen e intensidad del entrenamiento proceden de los nombres en inglés.

El concepto de 1RM es fundamental para entender estas dos nociones asociadas al término intensidad, ya que indica el máximo peso que puede levantar un atleta para realizar una repetición de un determinado ejercicio sin llevar al músculo al punto de fallo momentáneo pero sin la opción de poder realizar otra repetición completa. Por lo tanto, el índice prefijado a RM en este caso sería 1. Si para realizar 2 repeticiones empleamos la máxima carga sin opción de realizar una séptima repetición, esta carga correspondería a 2RM, y así sucesivamente. Es obvio que la máxima carga que puede levantar un atleta es la

correspondiente a 1RM, y que conforme vaya aumentando el número de RM la carga deberá ser menor.

La intensidad de un ejercicio de fuerza se suele establecer, por lo tanto, como un porcentaje de 1RM o de cualquier otro RM en función del número de repeticiones. Como indican Rhea, Alvar, Burkett y Ball (2003), después de realizar un meta-análisis de estudios experimentales de entrenamiento de resistencia, la intensidad mínima, que se puede utilizar para realizar una serie que induzca una cierta fatiga al músculo, está comprendida entre el 60-65% de 1RM, aunque en sujetos entrenados una intensidad del 80% de 1RM es más efectiva para conseguir las máximas ganancias de fuerza.

Además, los sujetos que no están entrenados obtienen el máximo beneficio ejercitando cada grupo muscular 3 días a la semana, mientras que los atletas sólo necesitan 2 días para obtener un incremento de 1RM, aunque en ambos grupos la mayor ganancia se consigue realizando 4 series de repeticiones.

No obstante, las observaciones particulares de los distintos estudios admiten cierto margen de variación que, en algunos parámetros, se puede antojar demasiado amplio como para admitir la existencia de un consenso generalizado entre los especialistas.

Por ejemplo, en un estudio con atletas bien entrenados se observó que la intensidad media idónea era del 85% de 1RM, 2 días a la semana, pero con un volumen de 8 series por grupo muscular (Peterson, Rhea y Alvar, 2004).

Otros estudios coinciden al señalar la intensidad del 85% de 1RM como la más adecuada para conseguir las máximas ganancias de fuerza, en una muestra de halterófilos de categoría junior, en el que se compararon 3 programas de entrenamiento de diferente intensidad comprendida entre 60-80% de 1RM para intensidad moderada, con un elevado número de repeticiones por serie, hasta 90-100% de 1RM con un menor número de repeticiones. Los mejores resultados se consiguen con una intensidad de 85% de 1RM o inferior, lo que aconseja el uso de programas de entrenamiento con un volumen moderado de repeticiones y series y con una intensidad relativamente alta (González-Badillo, Izquierdo y Gorostiaga, 2006).

Otros, sin embargo, indican que el entrenamiento de la fuerza de alta intensidad lleva a los jugadores de fútbol a los mayores incrementos en su capacidad explosiva (salto y sprint). En concreto, la aplicación de un programa de entrenamiento muscular consistente en 4 series de 6RM de ejercicios variados, entre los que se incluyen las medias sentadillas de espalda, produce un eficaz aumento de la altura del salto vertical (Wong, Chaouachi, Chamari, Dellal y Wisloff, 2010).

En todo caso, se sabe que la realización de un elevado número de repeticiones con muy poca carga produce un aumento mínimo o nulo de la fuerza, aunque si se realiza el

máximo número de repeticiones por serie de un determinado ejercicio de resistencia, sí que se producirá una ganancia en 1RM.

De hecho, Shimano, Kraemer, Spiering, Volak y Hatfield (2006), dicen que el número máximo de repeticiones por serie de sentadillas al 60% de 1RM de intensidad, que puede realizar un atleta bien entrenado es de 29,9, mientras que si la intensidad aumenta al 80% de 1RM, dicho número de repeticiones se reduce a 12,3. No obstante, como indican Fleck y Kraemer (2014), intensidades más bajas con cargas movidas a mayor velocidad, se suelen usar en los entrenamientos que quieren mejorar la potencia, lo que en parte se debe a que en la mayoría de ejercicios, la menor carga permite realizar repeticiones a mayor velocidad, que resultará en una mayor potencia que otras combinaciones de carga y velocidad.

En consecuencia, la intensidad del entrenamiento de fuerza en relación con 1RM dependerá del tipo de ejercicio y de otros parámetros como el entrenamiento previo. Además, existen importantes diferencias entre individuos en cuanto al número de repeticiones que pueden realizar de un ejercicio a un mismo porcentaje de 1RM. Es necesario tener en cuenta todos estos factores a la hora de considerar cuál es el porcentaje de 1RM idóneo para el entrenamiento de las características de fuerza.

Existe una controversia acerca de cuál es el protocolo de entrenamiento de fuerza más idóneo para la ganancia de fuerza y la mejora de la potencia explosiva relacionada con el salto y el sprint, aunque por lo general, se admite que la realización de más repeticiones por serie beneficia a la resistencia muscular, mientras que el entrenamiento consistente en menos repeticiones con más carga es mejor para aumentar la fuerza muscular.

Los protocolos de entrenamiento utilizados para estos programas son diferentes, aunque el volumen total de trabajo puede ser idéntico.

Las ganancias en la fuerza muscular se logran levantando objetos pesados (por ejemplo, 70-90% de 1RM) con pocas repeticiones. En contraste, las ganancias en la resistencia muscular se realizan mediante el levantamiento (por ejemplo, 30-50% de 1 RM) de peso relativamente ligero con un alto número de repeticiones (Kraemer, Dziados, Marchitelli, Gordon, Harman, Mello et al 1993; Warren, Stone, Kearney, Fleck, Johnson, Wilson et al 1992; Yarasheski, Zachweija, Angelopoulos y Bier, 1993). Las personas que usan el entrenamiento de resistencia para mejorar la fuerza muscular deben utilizar 1-6RM en el número de repeticiones durante las series (Stone y Coulter, 1994).

Es razonable pensar -diversos estudios así lo demuestran-, que cuando aumenta el porcentaje de 1RM, el número de repeticiones disminuye (Hoeger, Barette, Hale y Hopkins, 1987; Hoeger, Hopkins, Barette y Hale, 1990; Shimano et al 2006), aunque el hecho que un sujeto haya recibido un entrenamiento previo, puede hacer aumentar el número de repeticiones respecto a los sujetos no entrenados (Braith, Graves, Leggett y Pollack, 1993;

Pick y Becque, 2000) o, como mínimo, realizar el mismo número de repeticiones (Kraemer, Fleck, Maresh, Ratamess, Gordon, Goetz, et al 1990).

Los grupos musculares de mayor tamaño realizan mas repeticiones que los grupos de menor tamaño (por ej, prensa de piernas vs curl de bíceps) (Hoeger, Barette, Hale y Hopkins, 1987; Hoeger, Hopkins, Barette y Hale, 1990).

La cuantificación del número de repeticiones que se pueden realizar, también se ha hecho desde hace tiempo. Se ha señalado que 10 repeticiones se pueden realizar en el 55% de 1RM para los ejercicios de flexión de la rodilla (Clarke y Irving, 1960), 8-12 repeticiones al 70 % de 1RM, 5-6 repeticiones al 80 % de 1RM, y 1-3 repeticiones al 90 % de 1 RM (O'Shea, 1976). Pollock et al (1984) manifiestan que, al 75% de 1RM, los sujetos entrenados realizaron más repeticiones que los sujetos no entrenados (20-25 repeticiones vs 12-15 repeticiones). Landers (1985) encontró que dos repeticiones pueden llevarse a cabo al 95 % de 1RM, 4 al 90 % de 1RM, 6 al 85 % de 1RM, 8 al 80 % de 1RM y 10 al 75 % de 1RM.

Es importante señalar, que los estudios mencionados anteriormente utilizaron máquinas de entrenamiento de resistencia. Los ejercicios de máquina se alejan más de las actividades de la vida real y no requieren de la coordinación motora y el equilibrio de manera significativa en comparación con los ejercicios de peso libre (Kraemer, Adams, Cafarelli, Feigenbum, Fleck, Franklin et al 2002). Sólo, Shimano et al (2006), examinando la relación entre 60%, 80% y 90% de 1RM, en el caso de diferentes ejercicios de peso libre, observaron más repeticiones durante la sentadilla de espaldas frente el “press” de banca y el “curl” de bíceps en todas las intensidades.

## **I.6 Entrenamiento de la fuerza: efecto sobre la contracción excéntrica y concéntrica**

Los programas de entrenamiento de la fuerza utilizan ejercicios musculares estáticos y dinámicos habitualmente contra una resistencia externa. En el entrenamiento estático, las fibras musculares se mantienen con una longitud fija durante la realización del ejercicio. Por el contrario, durante el entrenamiento dinámico tiene lugar un acortamiento y alargamiento de las fibras musculares. Las acciones musculares dinámicas pueden ser divididas, por lo tanto, en dos clases, según se produzca el acortamiento o alargamiento respectivamente de las fibras musculares: acciones musculares concéntricas y excéntricas (Roig, O'Brien, Kirk, Murray, McKinnon, Shadgan et al 2009).

Las diferentes propiedades fisiológicas de la contracción excéntrica y concéntrica de un ejercicio pueden dar lugar, en función del principio de especificidad a diferentes adaptaciones del entrenamiento de fuerza (Enoka, 1996; Wilson, Murphy y Walshe, 1996; Fang, Seminonow, V, et al 2001).

La mayoría de los movimientos humanos involucran ambos tipos de contracciones en un ciclo de estiramiento (contracción excéntrica) y acortamiento (contracción concéntrica) (Nicol, Avela y Komi, 2006). En este sentido, se podría pensar que la óptima intervención para mejorar la función muscular debería comprender contracciones musculares repetidas realizadas con cargas relativamente altas e involucrando contracciones musculares a alta velocidad (Malisoux, Francaux, Nielens y Theisen, 2006).

Los ejercicios en los que se produce un ciclo de estiramiento-acortamiento se caracterizan porque involucran un componente excéntrico de alta intensidad seguido inmediatamente por una rápida y potente contracción concéntrica. El componente excéntrico parece tener un papel especialmente importante en el crecimiento del músculo y en las adaptaciones específicas del entrenamiento. De hecho, los estudios experimentales indican que la adecuada hipertrofia muscular en respuesta a los ejercicios de resistencia, sólo se produce si el entrenamiento incluye una acción excéntrica del músculo (Hather, Tesch, Buchanan y Dudley, 1991).

El incremento en el par máximo de potencia y en los parámetros de fuerza relacionados con el rendimiento muscular es mayor en los programas de entrenamiento en los que se realizan acciones musculares excéntricas y concéntricas, en comparación con el entrenamiento de resistencia, que sólo incluye el uso de acciones musculares concéntricas (Colliander, y Tesch, 1990).

No obstante, estos hallazgos han sido puestos en entredicho por otras investigaciones, que indican que los efectos del entrenamiento concéntrico y excéntrico sobre la adaptación neuromuscular son similares en ambos casos, dando lugar a un incremento equivalente en el par máximo, el grosor del músculo, la velocidad de conducción y la tasa de desarrollo muscular, aunque sólo el entrenamiento excéntrico produjo un aumento del par máximo isométrico (Cadore, González-Izal, Pallarés, Rodríguez-Falces, Häkkinen, Kraemer, et al 2014).

Pavone y Moffat (1985), encontraron que los efectos del entrenamiento excéntrico y concéntrico sobre la fuerza isométrica fueron similares. Ben-Sira, Ayalon y Tavi (1995), observaron que ambos tipos de entrenamiento tienen resultados similares en los parámetros de fuerza muscular y grosor del músculo.

La equivalencia de los resultados del entrenamiento concéntrico y excéntrico podría deberse, según Blazeovich, Cannavan, Coleman y Horne (2007), a la influencia de otros factores distintos al tipo de contracción, entre los que pueden encontrarse la velocidad de la

contracción. Estos autores encontraron que hubo una mayor tasa de crecimiento de la fuerza muscular en la contracción concéntrica, aunque la hipertrofia se producía de forma similar en el entrenamiento concéntrico y excéntrico.

En opinión de Seger y Thorstensson (2005), los incrementos de la fuerza revelaron más signos de especificidad relacionada con la velocidad y el tipo de contracción después del entrenamiento excéntrico, aunque con ambos tipos de ejercicio se produjo una mejora de los parámetros de fuerza muscular.

Está claro que no existe una evidencia empírica concluyente, que indique la superioridad del ejercicio concéntrico o excéntrico, sino que parece que las dos modalidades deben formar parte de un ciclo de entrenamiento que pretenda incrementar el rendimiento en los parámetros de fuerza, potencia y velocidad.

Con el objetivo de llegar a un punto de encuentro entre los diversos estudios experimentales, Roig et al (2009) realizaron una revisión sistemática de la literatura sobre la eficacia del entrenamiento excéntrico y concéntrico unido a un conjunto de metaanálisis, con el objetivo de determinar si el ejercicio excéntrico es superior al concéntrico en la estimulación de la ganancia de fuerza y masa muscular.

Los metaanálisis mostraron que cuando el ejercicio excéntrico se llevó a cabo a intensidades más altas en comparación con el entrenamiento concéntrico, la fuerza total y la fuerza excéntrica aumentaron de forma más significativa. Sin embargo, en comparación con el entrenamiento concéntrico, las ganancias de fuerza después del entrenamiento excéntrico dieron lugar a resultados más específicos en relación a la velocidad y al modo de contracción.

El entrenamiento excéntrico realizado a altas intensidades ha demostrado ser más eficaz en la promoción del aumento de la masa muscular, medida como circunferencia muscular. Además, el entrenamiento excéntrico también mostró una tendencia hacia el aumento de la sección transversal del músculo, medida con imágenes de resonancia magnética o tomografía computarizada. Los análisis de los subgrupos sugieren que la superioridad del entrenamiento excéntrico para aumentar la fuerza muscular y la masa parece estar relacionado con las cargas más altas desarrolladas durante las contracciones excéntricas. Estos autores apuntan que el patrón neuronal especializado de acciones excéntricas, posiblemente, explica la alta especificidad de ganancias de fuerza después del entrenamiento excéntrico.

## **II. El entrenamiento de fuerza y potencia en jugadores de fútbol: una revisión de la literatura**

El entrenamiento de la fuerza de los futbolistas ha sido objeto de diversas investigaciones que han estudiado el efecto de programas de entrenamiento sobre la fuerza muscular.

Wong et al (2010), estudiaron el efecto concurrente del entrenamiento de la fuerza muscular y de los intervalos de carrera de alta intensidad sobre los resultados de potencia explosiva y capacidad aeróbica de futbolistas profesionales. Durante ocho semanas, el grupo de control recibió un entrenamiento convencional, mientras que al grupo experimental se le aplicó, por un lado, un programa de ejercicios consistente en el entrenamiento de la fuerza muscular mediante cuatro series de seis repeticiones con máxima carga (1RM), que incluían sentadillas con salto y medias sentadillas de espalda, además de “press” de banca, dominadas y levantamiento de peso; por otro, una serie de ejercicios de alta intensidad, consistentes en 16 intervalos de sprint de 15 segundos al 120% de la velocidad aeróbica máxima individual intercalados con 15 segundos de descanso.

Los resultados mostraron que el grupo experimental incrementó significativamente la fuerza en los ejercicios de media sentadilla y “press” de banca, aunque no mostró cambios en la masa corporal. Además, las mejoras intraindividuales fueron significativamente mayores en el grupo experimental en el salto vertical y en el sprint de 10 y 30 metros, la distancia recorrida en el test yo-yo de recuperación intermitente y la velocidad aeróbica máxima.

Los autores sugieren que los ejercicios con intervalos de alta intensidad pueden ser realizados conjuntamente con el entrenamiento de la fuerza muscular con máxima carga para mejorar el comportamiento explosivo y la resistencia aeróbica de los jugadores de fútbol.

Chelly, Fathloun, Cherif, Ben Amar, Tabka y van Praagh (2009), estudiaron el efecto de un programa de entrenamiento de sentadillas de espalda sobre la potencia de la pierna, la capacidad de salto y el rendimiento en sprint en un grupo de futbolistas varones de la categoría junior. El programa duró dos meses, durante los cuales los futbolistas del grupo

experimental se entrenaron dos veces a la semana practicando el ejercicio de sentadillas traseras a máxima carga (1RM), mientras que los futbolistas del grupo de control se entrenaron convencionalmente. Los primeros mostraron a la finalización del estudio una mayor potencia máxima, mayor capacidad de salto (SJ y CMJ) así como el incremento de la velocidad en el sprint. La relación velocidad-fuerza y potencia-velocidad se ha visto mejorada en los sujetos del grupo que recibió el entrenamiento de fuerza sin que se observaran cambios en el volumen muscular de la pierna y el muslo de los futbolistas, por lo que los ejercicios dinámicos de resistencia con carga externa constante resultan altamente recomendables en este tipo de deportistas.

En un estudio similar, Chelly, Ghenem, Abid, Hermassi, Tabka y Shephard, (2010) pusieron a prueba la hipótesis que la adición de un programa de entrenamiento pliométrico de ocho semanas de duración, dos veces a la semana, al entrenamiento habitual mejoraría las medidas de potencia máxima, fuerza de salto, altura del salto y volumen muscular de las extremidades inferiores en futbolistas junior.

El entrenamiento pliométrico consistió en ejercicios de salto de vallas y salto en profundidad. Los resultados obtenidos indicaron que todos los parámetros evaluados mejoraron significativamente tras el entrenamiento en el grupo experimental. Se incrementó la potencia máxima, así como la potencia explosiva, ésta última evaluada mediante SJ, que mejoró la altura y velocidad, y CMJ, que mejoró altura, velocidad y potencia media. También hubo una mejora en la velocidad en todas las pruebas de sprint. Por último, se observó un aumento del volumen muscular del muslo, no así de la pierna, ni de la sección del muslo.

Sin embargo, otro estudio realizado en futbolistas profesionales determinó que la adición de un esquema de entrenamiento pliométrico a un entrenamiento de fuerza con alta carga externa, no supone una mejora significativa en el rendimiento físico de los jugadores. Ronnestad, Kvamme, Sunde y Raastad (2008), aplicaron a dos grupos de forma aleatoria un entrenamiento basado en ejercicios de fuerza con alta resistencia, dos días a la semana durante siete semanas, junto al entrenamiento habitual de fútbol. Otro grupo recibió el mismo esquema más un entrenamiento pliométrico adicional. El grupo de control sólo realizó el entrenamiento habitual consistente en entre 6-8 sesiones semanales. Los dos grupos que recibieron la intervención no obtuvieron diferencias significativas en el rendimiento (1RM, CMJ, SJ, pico de potencia, aceleración y velocidad en sprint), aunque ambos grupos sí obtuvieron una mejoría respecto al grupo de control en todos los parámetros evaluados en términos absolutos. Estos hallazgos indican que el entrenamiento pliométrico concurrente con el entrenamiento de fuerza no añade ninguna mejora a la capacidad física de los atletas.

El efecto de los ejercicios de fuerza sobre la capacidad de utilizar la fuerza explosiva en el sprint también ha sido analizado en el entrenamiento a largo plazo. Sander, Keiner, Wirth y Schmidtbleicher (2013), han examinado la influencia de un programa de

entrenamiento de la fuerza de dos años de duración en jugadores de fútbol de élite. Dicho programa constaba del entrenamiento habitual de fútbol, más un entrenamiento periódico de la fuerza mediante sentadillas de espalda y de frente, una vez a la semana. Los futbolistas que siguieron el programa de fuerza mejoraron significativamente su rendimiento en la prueba de sprint.

Helgerud, Rodas, Kemi y Hoff (2011), pusieron a prueba la eficacia de un programa de trabajo conjuntamente la resistencia de alta intensidad y la fuerza máxima para incrementar la capacidad física de un equipo de jugadores de fútbol de élite. El programa de entrenamiento se implementó durante ocho semanas, en las que se realizaron dos sesiones de ejercicios semanales, consistentes en entrenamiento aeróbico a un 90-95% de la tasa cardíaca máxima junto a medias sentadillas con máxima carga en sets de cuatro repeticiones. Los resultados mostraron un incremento de la potencia en el ejercicio de media sentadilla, por el aumento significativo de 1RM. La capacidad de sprint y de salto también se vio favorecida por el programa, lo que indica que la combinación del entrenamiento de la resistencia y la fuerza es altamente beneficiosa para los futbolistas profesionales.

Estos estudios vienen a avalar la hipótesis propuesta por Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones y Hoff (2004), quienes, partiendo de la idea de que la potencia está estrechamente vinculada a la fuerza máxima, utilizando el razonamiento inductivo, concluyeron que el incremento de la fuerza de la contracción muscular en los músculos y grupos musculares adecuados puede resultar en un incremento de la velocidad y de la capacidad de aceleración en habilidades que son críticas para los futbolistas, como los cambios de dirección, la carrera al sprint y los cambios de ritmo.

Para poner a prueba esta hipótesis, realizaron un experimento en el que un grupo de futbolistas de un equipo de élite profesional fueron evaluados en los parámetros de máxima fuerza en medias sentadillas, capacidad de esprintar y capacidad de salto vertical.

Los resultados pusieron de manifiesto que existe una fuerte correlación entre la fuerza máxima, el rendimiento en sprint y la altura del salto vertical, tal y como propusieron los investigadores, quienes recomendaron que los jugadores de fútbol focalizaran su entrenamiento en ejercicios para incrementar la fuerza máxima, con especial énfasis en realizar el máximo esfuerzo en los movimientos concéntricos, que son los que estos autores relacionan específicamente con la capacidad de salto y de sprint.

Para Hoff (2005), la mejora en el rendimiento en las pruebas de salto y sprint en los jugadores de fútbol de élite, se deben a los cambios neurales producidos por el entrenamiento de la fuerza mediante medias sentadillas, con especial énfasis en la movilización de la fuerza en la acción concéntrica del movimiento.

Posteriormente, Requena, González-Badillo, de Villarreal, Erelina, García, Gapeyeya et al (2009), con el propósito de determinar las características de fuerza muscular y potencia

de un grupo de futbolistas profesionales y de relacionar dichas características con el rendimiento en altura del salto vertical y velocidad del sprint, evaluaron los índices de fuerza máxima y de potencia obtenidos en ejercicios de sentadillas de espalda con mancuernas con diferentes cargas, la fuerza máxima isométrica del extensor de la rodilla (entiéndase cuádriceps crural) y del músculo flexor plantar, el par máximo isocinético de los músculos extensores de la rodilla, la altura del salto vertical en sentadilla y en saltos contrabalanceados y el tiempo en recorrer 15 m en sprint.

Los resultados indicaron que: a) la potencia máxima en los ejercicios de media sentadilla concéntrica se obtuvo para una carga del 60% de 1RM, lo que representa un 112% del peso corporal; b) el rendimiento en las medidas funcionales de salto y velocidad se relacionó positivamente con las medidas de potencia en los ejercicios de media sentadilla, sobre todo cuando estos ejercicios se realizaban con una carga comprendida entre el 75 y el 125% del peso corporal. Sin embargo, no se halló una relación de la capacidad de salto y sprint con las medidas de fuerza muscular isométrica e isocinética.

No obstante, otros autores sugieren que el entrenamiento de la fuerza y la potencia no produce un efecto diferencial sobre la agilidad, el sprint y la resistencia. Un reciente estudio de Faudea, Rotha, Giovinea, Zahnera y Donatha (2014), realizado sobre una muestra de futbolistas aficionados de alto nivel; se asignaron aleatoriamente a un programa de entrenamiento de siete semanas –que consistió en ejercicios de resistencia para las extremidades inferiores combinado con ejercicios pliométricos y sprint-, o a un grupo de control, mostró que dicho entrenamiento produjo una mejoría en los indicadores de potencia explosiva relacionados con el salto (CMJ y drop jump), así como en la fuerza máxima (1RM). Sin embargo, los valores de agilidad, sprint y resistencia intermitente fueron similares en ambos grupos.

Cuando se ha comparado la eficacia de un entrenamiento basado en la velocidad y de un entrenamiento fundamentado en la potencia, los resultados no han sido determinantes a favor de uno u otro.

Loturco, Ugrinowitsch, Tricoli y Roschel (2013), analizaron la eficacia de un programa de entrenamiento basado en la velocidad y de otro basado en la intensidad en sendos grupos de futbolistas profesionales, ambos de tres semanas de duración. El entrenamiento de velocidad se desarrollaba partiendo de una carga del 60% 1RM hasta llegar al 30% 1RM, a la vez que se iba incrementando la velocidad en la ejecución, mientras que el grupo del entrenamiento de intensidad comenzaba con una carga del 30% de 1RM a alta velocidad y aumentaba la carga hasta llegar al 60% 1RM con una velocidad más baja. Los dos esquemas de entrenamiento resultaron igualmente válidos para aumentar la fuerza máxima (1RM), la capacidad de salto (CMJ, SJ) y la velocidad (10 m sprint), sin que se observaran diferencias entre los grupos.

A pesar de la gran cantidad de evidencia empírica en relación con las estrategias para la preparación física de los futbolistas, no existe mucha información relativa a los efectos del orden en el entrenamiento concurrente de ejercicios de intensidad y de fuerza. McGawley y Andersson (2013) llevaron a cabo un estudio con el objetivo de analizar el efecto de ambos tipos de ejercicios sobre determinadas medidas específicas del rendimiento; además, estudiaron el efecto del orden de aplicación de ambos tipos de ejercicios.

Realizaron un programa de tres sesiones semanales durante cinco semanas a un grupo de futbolistas. La mitad de ellos siguieron el esquema comenzando por el entrenamiento de intensidad, mientras que el resto comenzó por el entrenamiento de fuerza para terminar con el de intensidad. Los resultados indicaron que el rendimiento en las pruebas de velocidad y agilidad fue similar en ambos casos, produciéndose una mejoría en todas las medidas evaluadas.

### **III. Justificación, Objetivos e Hipótesis**

Los antecedentes expuestos marcan claramente la línea de actuación que **justifica** la realización del presente estudio. Aportar nuevos datos que permitan dilucidar y/o aclarar la mejor intervención en el entrenamiento de los jugadores de fútbol que incardinados en el progreso de una temporada deportiva, permita obtener los mejores resultados en beneficio del atleta/deportista y en la consecución de los fines que se persigan.

El **objetivo general** del estudio es analizar la eficacia de un programa de entrenamiento de la fuerza consistente en dos macrociclos de ejercicios consistentes en medias sentadillas de espalda con carga moderada.

Como **objetivos específicos** se han establecido los siguientes:

1. Analizar la eficacia del programa de entrenamiento sobre el número de repeticiones, el par de potencia y la fatiga.
2. Estudiar el efecto de la aplicación del programa sobre la potencia explosiva, evaluada a través de los indicadores de la plataforma Bosco (10x5, SJ, CMJ, CMJas), así como sobre la elasticidad.
3. Evaluar la eficacia de la intervención sobre los valores de potencia, fuerza y velocidad en las fases concéntricas y excéntricas del ejercicio, así como las diferencias existentes en el efecto sobre las fases concéntrica y excéntrica.

## **Hipótesis**

**H<sub>1</sub>**: la aplicación del programa de entrenamiento producirá un incremento en el número de repeticiones y en el par de potencia.

**H<sub>2</sub>**: se producirá un descenso de la fatiga del primer al segundo macrociclo.

**H<sub>3</sub>**: el programa de entrenamiento producirá un incremento de los valores de potencia explosiva evaluada mediante altura de salto.

**H<sub>4</sub>**: la aplicación de los dos macrociclos incrementará la potencia, fuerza y velocidad en las fases concéntrica y excéntrica.

**H<sub>5</sub>**: La eficacia del programa de entrenamiento será equivalente en las fases concéntrica y excéntrica del ejercicio.

## **IV. Metodología**

## IV.1 Diseño de investigación

Se ha aplicado un diseño experimental longitudinal prospectivo de grupo único con dos momentos de medida, que corresponden a cada uno de los macrociclos del programa de entrenamiento. Las medidas efectuadas en el primer macrociclo se han establecido como base para efectuar la evaluación de la eficacia del programa de entrenamiento de la potencia, a través de la comparación con las medidas realizadas a la finalización del segundo macrociclo.

## IV.2 Participantes

En el programa de entrenamiento han participado 19 sujetos sanos, futbolistas de un equipo de segunda división de la liga española de fútbol profesional. Los deportistas han accedido al estudio después de firmar el correspondiente consentimiento informado en el que se describe la naturaleza y procedimientos de la investigación, así como los posibles riesgos y lesiones a los que pueden estar expuestos; se solicita el consentimiento para la participación de acuerdo con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki<sup>6</sup>.

Uno de los deportistas abandona el programa de entrenamiento por lesión, por lo que, finalmente, se han tomado los registros completos de 18 sujetos en el primer y segundo macrociclo.

---

<sup>6</sup> Asociación Médica Mundial (1964). Declaración de Helsinki, adoptada por la 18ª Asamblea Médica Mundial. AMM: Helsinki, 1964. Disponible en: <http://www.wma.net/es/30publications/10policies/b3/>

El promedio de edad de los 18 participantes es de 23,4 años (dt = 3,7 años): Los datos antropométricos son: peso medio, 73,4 Kg (dt = 3,6 Kg), estatura media, 179,3 cm (dt = 6,0 cm) e IMC medio, 22,8 Kg/m<sup>2</sup> (dt = 0,8).

### IV.3 Protocolo experimental

El programa de entrenamiento se realiza entre los meses de julio y octubre de 2010. Con anterioridad al inicio del protocolo de intervención, en el primer macrociclo, se realiza un examen estructural, una descripción funcional y un examen ultrasonido de los deportistas con el fin de detectar cualquier malformación o patología que impidiera la participación en el experimento.

El primer macrociclo tuvo lugar entre los meses de mayo-julio de 2010; el registro de resultados se hace el 22 de julio. A continuación comienza el segundo macrociclo, cuyos efectos se registran el 6 de octubre.

Cada uno de los macrociclos consiste en un programa de entrenamiento de diez semanas de duración de dos sesiones semanales (martes y viernes). La aplicación de las sesiones correspondientes se planifican para que sean antes de la sesión de entrenamiento previsto por el club de fútbol. Todas las sesiones se programan a la misma hora con el fin de controlar el posible efecto de la variación circadiana en el rendimiento fisiológico.

Las sesiones de entrenamiento tienen una duración de 45 minutos; comienzan con un calentamiento de 15 minutos, que consta de 5 minutos de carrera ligera en cinta/tapiz rodante y tres series de 10, 15 y 20 repeticiones del ejercicio de media sentadilla al 50, 60 y 75%, respectivamente, de la carga establecida para la sesión de entrenamiento.

Tras el calentamiento, se inicia el ejercicio correspondiente al protocolo experimental, dirigido al entrenamiento de la potencia del tren inferior. Se lleva a cabo mediante un ejercicio de media sentadilla de espalda con carga externa, empleando una barra libre lastrada con discos, en una jaula de sentadillas o *power cage*. Previamente, se explicaba a los sujetos el procedimiento técnico de realización del ejercicio, según las siguientes instrucciones:

El inicio del movimiento comienza en posición erguida situando la barra sobre el músculo trapecio. Para ello se sitúa la barra a la altura del pecho, ubicándose el deportista debajo de la barra y elevando la carga hasta la posición de erguido. Las piernas deben estar separadas a la altura de los hombros, manteniendo los pies rectos hacia el frente. Se permite el uso de alzas en los talones para mejorar la estabilidad.

La espalda debe mantenerse recta y la carga debe ser sujeta únicamente con la espalda; los brazos se utilizan exclusivamente para estabilizar la barra. Los brazos deben formar un ángulo de 90° en el codo, manteniendo las muñecas alineadas. En la posición inicial, comienza el movimiento de descenso (fase excéntrica), flexionando las rodillas hasta formar un ángulo de 90° en las rodillas. En ese momento, las rodillas no superan, o muy ligeramente, la línea imaginaria que las une con las puntas de los pies, procurando desplazar la carga sobre la vertical, y procurando no inclinar la espalda hacia delante. Las rodillas tampoco deben desplazarse hacia el interior ni el exterior, manteniéndose paralelas al plano sagital. Una vez se alcanza la posición de media sentadilla, se inicia el movimiento de ascenso, que debe realizarse, siguiendo las instrucciones anteriores, hasta alcanzar de nuevo la posición erguida.

Para cada sujeto se estableció una carga externa determinada en función de la potencia máxima. La carga externa para 1RM fue evaluada siguiendo el procedimiento de Kraemer y Fry (1996), que consiste en un primer calentamiento de una serie de 8 a 10 repeticiones al 50% de 1RM estimado, un segundo calentamiento de 3 a 5 repeticiones con aproximadamente el 75% de 1RM y un tercer calentamiento con el 90% de 1RM.

Finalmente, los participantes realizan un ejercicio a 1RM mediante el incremento de la carga durante sucesivos ensayos. Cuando los atletas son incapaces de realizar correctamente la media sentadilla, se establece la 1RM con la correspondiente carga, cuyo rango estuvo entre 103 y 124 Kg ( $M = 110,38$  Kg;  $dt = 17,8$  Kg).

La carga externa seleccionada para el programa de entrenamiento fue del 65% de 1RM, cuyo rango, para los participantes, estuvo entre 60-85 Kg ( $M = 71,7$ ;  $dt = 5,4$ ). Esta carga representa un promedio del 97,7% del peso corporal de los futbolistas ( $dt = 5,3\%$ ; rango = 87,3-104,2%).

Los atletas participan en cada sesión en 4 series de 10 a 25 repeticiones a la máxima velocidad. Cuando el nivel de potencia de dos repeticiones sucesivas es inferior al mínimo -establecido en dos desviaciones típicas por debajo de la potencia media de cada atleta-, la serie finaliza. La señal de finalización se hace por medio de un estímulo sonoro y los deportistas tienen conocimiento de la velocidad ( $\pm 10\%$ ). El período de recuperación entre cada serie es de 3 minutos.

## IV.4 Medidas

### *Medidas antropométricas*

Se realizó un análisis antropométrico del **peso** (Kg), **estatura** (cm) e **índice de masa corporal** (IMC) que, expresado en Kg/m<sup>2</sup>, relaciona peso y estatura; se obtiene aplicando la siguiente fórmula tradicional:

$$\text{IMC} = \text{Peso (Kg)} / \text{Estatura}^2 (\text{m}^2)$$

### *Agilidad*

**Prueba de 10 X 5.** Consiste en una prueba de sprint en la que se colocan 2 líneas paralelas con una separación de 5 m. El atleta parte de la posición en la que se encuentra pisando una de las líneas, iniciando una carrera a máxima velocidad hacia la otra línea, que debe pisar, regresa a la línea de partida, también a máxima velocidad. Este recorrido se realiza 5 veces, hasta completar 50 metros al sprint y, entonces, se rebasa la línea en el último tramo.

**El tiempo que tarda cada atleta en realizar este recorrido se mide en segundos.**

### *Salto vertical*

Para medir la altura de salto vertical (cm) se han aplicado 3 pruebas: CMJ, CMJas y SJ.

**CMJ:** el ejercicio comienza en la posición de erguido, con las manos en la cintura y, efectuando una flexión de rodillas, se inicia la fase de ascenso, despegue y vuelo.

**CMJas:** el ejercicio es igual que el CMJ, con la diferencia que se permite el impulso con los brazos.

**SJ:** el ejercicio comienza en la posición de piernas flexionadas a 90°, con las manos en la cintura y sin ejecutar ningún movimiento previo. Deberán impulsarse hacia arriba sin ayuda del impulso de los brazos.

Los atletas realizan 3 saltos de cada modalidad, en cada sesión, con un intervalo de 1 minuto de recuperación en cada serie, y de 30 minutos de recuperación entre series. **En cada serie se selecciona el mejor salto.**

### *Elasticidad*

La elasticidad se valora mediante la utilización del test de Bosco, según el índice:

$$\text{Elasticidad (\%)} = (\text{CMJ-SJ}) * 100 / \text{SJ}$$

### *Fuerza*

Se evalúa la fuerza durante la realización del ejercicio de media sentadilla con carga externa del protocolo de entrenamiento. La unidad de medida es el Newton (N). La medición se realiza diferenciando las fases excéntrica y concéntrica del movimiento, dando lugar a las siguientes variables:

**Fuerza concéntrica media:** media estadística de los datos de fuerza registrados durante la fase concéntrica del ejercicio

**Fuerza excéntrica media:** media estadística de los datos registrados durante la fase excéntrica del ejercicio (N).

**Fuerza relativa concéntrica media:** es la fuerza media desarrollada por el atleta por cada unidad de masa, durante la fase concéntrica del ejercicio (N\*Kg):

$$F_{\text{rel (concéntrica media)}} \text{ (N/Kg)} = F_{\text{concéntrica media}} \text{ (N)} / \text{peso (Kg)}$$

**Fuerza relativa excéntrica media:** es la fuerza media desarrollada por el atleta por cada unidad de masa durante la fase excéntrica del ejercicio (N\*Kg):

$$F_{\text{rel (excéntrica media)}} \text{ (N/Kg)} = F_{\text{excéntrica media}} \text{ (N)} / \text{peso (Kg)}$$

### *Potencia*

La medición de la potencia se ha realizado, igualmente, en las fases excéntrica y concéntrica del ejercicio de media sentadilla con carga externa. La unidad de medida es el vatio (W). Se han registrado las siguientes variables:

**Potencia concéntrica media:** es la potencia media desarrollada durante la fase concéntrica del ejercicio (W).

**Potencia máxima concéntrica:** es el máximo valor de potencia registrado durante la fase concéntrica del ejercicio (W).

**Potencia relativa concéntrica media:** es la potencia media desarrollada durante la fase concéntrica por unidad de masa (W\*Kg):

$$W_{\text{rel (concéntrica media)}} = W_{\text{concéntrica media}} / \text{peso (Kg)}$$

**Potencia máxima relativa concéntrica:** es la máxima potencia desarrollada durante la fase concéntrica del ejercicio por unidad de masa ( $W \cdot Kg^{-1}$ ):

$$W_{\text{Max rel (concéntrica media)}} = W_{\text{Max concéntrica media}} / \text{peso (Kg)}$$

**Potencia excéntrica media:** es la potencia media desarrollada durante la fase excéntrica del ejercicio (W).

**Potencia máxima excéntrica:** es el máximo valor de potencia registrado durante la fase concéntrica del ejercicio (W).

**Potencia relativa concéntrica media:** es la potencia media desarrollada durante la fase excéntrica por unidad de masa ( $W \cdot Kg$ ):

$$W_{\text{rel (excéntrica media)}} = W_{\text{excéntrica media}} / \text{peso (Kg)}$$

**Potencia máxima relativa excéntrica:** es la máxima potencia desarrollada durante la fase excéntrica del ejercicio por unidad de masa ( $W \cdot Kg$ ):

$$W_{\text{Max rel (excéntrica media)}} = W_{\text{Max excéntrica media}} / \text{peso (Kg)}$$

**Par de potencia:** Se valora la potencia en el movimiento angular de la articulación de la rodilla, durante el ejercicio de media sentadilla, con carga externa (W).

### *Velocidad*

Se ha realizado la medición de la velocidad durante las fases excéntrica y concéntrica del ejercicio de media sentadilla con carga externa del protocolo de entrenamiento como la distancia recorrida en metros por segundo ( $m \cdot s$ ).

**Velocidad concéntrica media:** velocidad media durante la fase concéntrica del ejercicio ( $m \cdot sg^{-1}$ ).

**Velocidad excéntrica media:** velocidad media durante la fase excéntrica del ejercicio ( $m \cdot sg^{-1}$ ).

**Repeticiones:** número de repeticiones realizadas por el atleta en cada serie del ejercicio de media sentadilla, con carga externa del protocolo de entrenamiento.

## *Fatiga*

Se realiza una medición de la fatiga en los ejercicios de media sentadilla, con carga externa del protocolo de entrenamiento, mediante la plataforma Ergo Jump Bosco/System®, entendida como la reducción relativa en la fuerza máxima:

$$\text{Fatiga (\%)} = \Delta\text{Fuerza} / F_{\text{Max}}$$

## **IV.5 Instrumento**

El protocolo de entrenamiento y el ejercicio de salto se realiza en una plataforma Ergo Jump Bosco/System®, conectada a un sistema Muscle lab-Bosco System® para la medición de fuerza, potencia, velocidad, altura del salto y fatiga.

Esta plataforma ha sido desarrollada por el investigador Carmelo Bosco para evaluar las propiedades musculares de los miembros inferiores.

Se compone de una plataforma de contacto por la que circula una corriente eléctrica sensible a la presión, de tal manera que cuando el atleta toma contacto con la plataforma la corriente deja de circular. Esta plataforma está conectada a un dispositivo donde se registra la información del tiempo de vuelo y tiempo de contacto, con el fin de poder evaluar los diferentes parámetros, a partir de la fórmula básica de la estimación de la potencia mecánica propuesta por Bosco (Bosco, Luhtanen y Komi, 1983):

$$W = \frac{(g^2 * Tv * (Tv + Tc))}{4Tc}$$

Tv = tiempo de vuelo (m/s)

Tc = tiempo de contacto (m/s)

g<sup>2</sup> = aceleración de la gravedad (9,81 m\*s<sup>2</sup>)

W = potencia mecánica estimada (W\*Kg<sup>-1</sup>)

## IV.6 Análisis de los datos

El análisis estadístico de los datos se ha realizado mediante el software IBM SPSS® (versión 19). En primer lugar, se ha realizado un estudio descriptivo univariante, mediante el **cálculo de la media, desviación típica, mínimo y máximo.**

También, se ha aplicado la **prueba de normalidad de Shapiro-Wilk.**

Para estudiar el **efecto de la intervención** se ha utilizado la **prueba t de Student** para dos muestras relacionadas, en los casos en los que ambas variables siguen la distribución normal, y la **prueba de rangos con signo de Wilcoxon** cuando alguna de las variables se desvía de la normalidad.

El **tamaño del efecto** se ha calculado mediante el **índice d de Cohen**, como el cociente de la diferencia entre las medias relacionadas y la desviación típica en la primera medida.

Por último, la asociación lineal entre las variables se han estudiado mediante el **coeficiente de correlación de Pearson.**

La zona de rechazo de la hipótesis nula se ha establecido en el 5%.

## **V. Resultados**

## V.1 Descriptivos antropometría

Los resultados de esta prueba indican que **el peso, la estatura, el IMC y la carga relativa siguen la distribución normal**. Sin embargo, la **carga absoluta no se ajusta a este tipo de distribución** (ver tabla 7).

	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	Shapiro-Wilk
<b>Peso (Kg)</b>	18	73,35	3,58	67,50	82,00	0,618
<b>Estatura (cm)</b>	18	179,33	6,03	169,00	190,00	0,633
<b>IMC (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	18	22,82	0,80	21,79	24,28	0,299
<b>Carga (Kg)</b>	18	71,67	5,42	60,00	85,00	0,038
<b>Carga relativa</b>	18	97,69	5,29	87,34	104,17	0,149

Tabla 7. Estadísticos descriptivos de parámetros antropométricos y pruebas de normalidad.

## V.2 Descriptivos repeticiones, potencia y fatiga

Los estadísticos descriptivos y las pruebas de normalidad para el número de repeticiones, par de potencia y fatiga en el 1er y 2º macrociclos se presentan en la tabla 8.

***Solamente, el número de repeticiones en el 1er macrociclo no se ajusta a la distribución normal.***

También, se muestran los resultados de las pruebas no paramétricas de rangos con signo de Wilcoxon, que estudian la diferencia en el número de repeticiones entre el 2º y 1er macrociclo, así como las pruebas t de Student para dos muestras relacionadas, que analizan el efecto sobre el par de potencia y la fatiga.

Los resultados indican que **existe un incremento en el número de repeticiones y en el par de potencia, no así en fatiga**. El coeficiente d de Cohen muestra que el *tamaño del efecto es grande para repeticiones* ( $d = 1,83$ ), *moderado-alto para el par de potencia* ( $d = 0,66$ ) y *pequeño para fatiga* ( $d = 0,38$ ). Se comprueba la **efectividad del programa**.

Medidas (1º macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
<b>Repeticiones</b>	18	15,61	1,58	13,00	18,00	0,033	
<b>Par de potencia</b>	18	580,30	71,79	486,36	765,31	0,183	
<b>Fatiga</b>	18	7,14	10,41	-14,28	29,69	0,979	
Medidas (2º macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
<b>Repeticiones</b>	18	18,50	2,15	14,00	22,00	0,656	
<b>Par de potencia</b>	18	627,81	85,33	498,39	779,79	0,477	
<b>Fatiga</b>	18	3,14	10,44	-13,26	24,36	0,595	
Medida	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	p
<b>Repeticiones</b> ( $\Delta$ 2º-1º macrociclo)	18	2,89	2,52	-4,00	6,00	0,005	0,000 <sup>a</sup>
<b>Par de potencia</b> ( $\Delta$ 2º-1º macrociclo)	18	47,51	40,73	-42,50	105,44	0,482	0,000 <sup>b</sup>
<b>Fatiga</b> ( $\Delta$ 1º-2º macrociclo)	18	4,00	14,77	-21,83	39,69	0,679	0,270 <sup>b</sup>

Tabla 8. Estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y efectividad del programa de entrenamiento sobre el número de repeticiones, par de potencia y fatiga. a: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b: Prueba t de Student para muestras relacionadas.

### V.3 Descriptivos plataforma Bosco

Los resultados corresponden a las pruebas de agilidad, salto y elasticidad, tanto del primero como del segundo macrociclo, así como los datos de las pruebas de normalidad y de estudio de las diferencias entre ambos se encuentran en la tabla 9. La prueba de agilidad (10X5) sólo se realizó al finalizar el 1er macrociclo.

Las pruebas de normalidad indican que las evaluaciones de salto y elasticidad no siguen la distribución normal, tanto en el 1º como en el 2º macrociclo. En consecuencia, se aplica la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para dos muestras relacionadas para estudiar el efecto del macrociclo.

Los resultados indican que el **entrenamiento ha producido un incremento de la altura del salto en las tres modalidades evaluadas (SJ, CMJ, CMJas)**. *El tamaño del efecto ha sido moderado para SJ* ( $d = 0,42$ ), *moderado-alto para CMJ* ( $d = 0,61$ ) y *CMJas* ( $d = 0,56$ ), y *pequeño para elasticidad* ( $d = 0,30$ ). Se comprueba, una vez más, que **el programa es efectivo**.

Medidas (1º macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
<b>10X5 (s)</b>	18	16,22	0,33	15,46	16,73	0,370	
<b>SJ (cm)</b>	18	36,60	3,34	32,10	45,70	0,074	
<b>CMJ (cm)</b>	18	44,68	4,23	37,50	58,50	0,001	
<b>CMJas (cm)</b>	18	52,62	5,68	45,60	71,30	0,001	
<b>Elasticidad %</b>	18	17,56	5,74	2,10	29,10	0,142	
Medidas (2º macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
<b>SJ (cm)</b>	18	37,99	3,19	34,30	46,20	0,004	
<b>CMJ (cm)</b>	18	47,26	4,49	39,50	58,40	0,043	
<b>CMJas (cm)</b>	18	55,77	4,31	45,30	64,10	0,062	
<b>Elasticidad %</b>	18	19,30	6,64	1,01	24,62	0,001	
Medidas ( $\Delta$ 2º-1º macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	p
<b>SJ (cm)</b>	18	1,39	2,75	-2,70	7,40	0,237	0,042
<b>CMJ (cm)</b>	18	2,58	3,48	-3,00	9,10	0,516	0,012
<b>CMJas (cm)</b>	18	3,16	4,09	-7,20	9,40	0,293	0,009
<b>Elasticidad %</b>	18	1,74	7,39	-16,71	11,87	0,031	0,184

Tabla 9. Estadísticos descriptivos y pruebas de normalidad de altura de salto, agilidad y elasticidad. Efecto del programa de entrenamiento sobre altura del salto y elasticidad (pruebas de rango con signo de Wilcoxon).

## V.4 Descriptivos de potencia, fuerza y velocidad

Los datos de potencia, fuerza y velocidad en las fases excéntrica y concéntrica de la media sentadilla en el 1<sup>er</sup> y 2<sup>o</sup> macrociclo se encuentran en las tablas 10 y 11.

Las pruebas de Shapiro-Wilk muestran que solamente la potencia concéntrica media en el 1er macrociclo no se ajusta a la distribución normal y, por tanto, se utiliza la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon para la potencia concéntrica media.

En el resto de variables se ha aplicado la prueba t de Student para dos muestras relacionadas.

Los resultados indican que ha habido un **incremento en los valores de potencia media y máxima, tanto absoluta como relativa al peso corporal, de la fuerza absoluta y relativa y de la velocidad de la contracción**. *El tamaño del efecto ha sido grande para potencia concéntrica media* ( $d = 0,85$ ), *potencia relativa concéntrica* ( $d = 1,01$ ), *velocidad concéntrica media* ( $d = 0,92$ ); **moderado-alto para fuerza relativa concéntrica** ( $d = 0,70$ ) y **potencia máxima relativa concéntrica** ( $d = 0,63$ ); y *moderado para potencia máxima concéntrica* ( $d = 0,47$ ) y *fuerza concéntrica* ( $d = 0,48$ ).

Medidas (1° macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
<b>Potencia conc media (W)</b>	18	1338,59	198,18	1106,00	1844,40	0,027	
<b>Pmax conc (W)</b>	18	1556,67	263,49	1225,00	2034,00	0,057	
<b>Fuerza conc media (N)</b>	18	1675,33	138,43	1444,00	1976,00	0,871	
<b>Velocidad conc media</b>	18	0,80	0,07	0,69	1,00	0,079	
<b>Potencia rel conc media (W/Kg)</b>	18	18,22	2,30	14,20	23,95	0,066	
<b>Fuerza rel conc media (N/Kg)</b>	18	22,83	1,31	20,44	25,49	0,722	
<b>Pmax rel conc (W/Kg)</b>	18	21,14	2,77	17,55	26,31	0,072	
Medidas (2° macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
<b>Potencia conc media (W)</b>	18	1507,76	212,05	1208,00	2020,40	0,542	
<b>Pmax conc (W)</b>	18	1680,97	237,48	1405,80	2283,20	0,090	
<b>Fuerza conc media (N)</b>	18	1741,92	131,23	1489,40	2013,80	0,953	
<b>Velocidad conc media</b>	18	0,86	0,08	0,70	1,04	0,203	
<b>Potencia rel conc media (W/Kg)</b>	18	20,54	2,56	16,69	26,24	0,604	
<b>Fuerza rel conc media (N/Kg)</b>	18	23,74	1,23	21,15	25,27	0,080	
<b>Pmax rel conc (W/Kg)</b>	18	22,88	2,73	19,73	29,65	0,067	
Medidas ( $\Delta$ 2°-1° macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	p
<b>Potencia conc media (W)</b>	18	169,16	98,27	-8,00	402,60	0,740	0,000 <sup>a</sup>
<b>Pmax conc (W)</b>	18	124,30	193,23	-494,40	429,40	0,006	0,014 <sup>b</sup>
<b>Fuerza conc media (N)</b>	18	66,59	37,80	-36,50	113,50	0,040	0,000 <sup>b</sup>
<b>Velocidad conc media</b>	18	0,07	0,05	-0,02	0,19	0,437	0,000 <sup>b</sup>
<b>Potencia rel conc media (W/Kg)</b>	18	2,32	1,38	-0,11	5,69	0,734	0,000 <sup>b</sup>
<b>Fuerza rel conc media (N/Kg)</b>	18	0,91	0,52	-0,50	1,54	0,032	0,000 <sup>b</sup>
<b>Pmax rel conc (W/Kg)</b>	18	1,75	2,58	-6,35	6,06	0,011	0,011 <sup>b</sup>

Tabla 10. Estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y efecto del programa de entrenamiento sobre los valores de fuerza, potencia y velocidad concéntrica. a: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b: Prueba t de Student para muestras relacionadas.

Respecto a los valores de potencia, fuerza y velocidad en la fase excéntrica del ejercicio de media sentadilla (tabla 11), la prueba de Shapiro-Wilk indica que la potencia excéntrica media, absoluta y relativa, y la potencia máxima relativa no se ajustan a la distribución normal. Para estudiar el efecto del entrenamiento en estas variables se ha aplicado la prueba no paramétrica de rangos con signo de Wilcoxon. En el resto de variables se utilizó la prueba t de Student para dos muestras relacionadas.

Medidas (1° macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
Potencia exc media (W)	18	1310,69	187,50	1073,00	1810,90	0,035	
Pmax exc (W)	18	1469,36	200,01	1184,00	1984,80	0,080	
Fuerza exc media (N)	18	1666,31	129,48	1429,00	1888,00	0,967	
Velocidad exc media (s)	18	0,79	0,08	0,69	0,99	0,094	
Potencia rel exc media (W/Kg)	18	17,87	2,36	14,94	23,52	0,016	
Fuerza rel exc media (N/Kg)	18	22,71	1,29	20,65	25,42	0,515	
Pmax rel exc (W/Kg)	18	20,02	2,47	16,96	25,78	0,019	
Medidas (2° macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	
Potencia exc media (W)	18	1481,28	246,58	1074,90	1940,80	0,808	
Pmax exc (W)	18	1662,27	233,23	1324,80	2120,30	0,504	
Fuerza exc media (N)	18	1733,38	144,32	1460,90	2064,30	0,971	
Velocidad exc media (s)	18	0,85	0,09	0,63	1,01	0,764	
Potencia rel exc media (W/Kg)	18	20,15	2,85	14,85	25,21	0,935	
Fuerza rel exc media (N/Kg)	18	23,62	1,29	21,26	25,17	0,085	
Pmax rel exc (W/Kg)	18	22,63	2,72	19,11	29,05	0,382	
Medidas (Δ 2°-1° macrociclo)	N	Media	Desv. típ.	Mínimo	Máximo	SW	p
Potencia exc media (W)	18	170,59	158,36	-122,10	555,30	0,342	0,001 <sup>a</sup>
Pmax exc (W)	18	192,91	150,21	-10,00	521,70	0,290	0,000 <sup>b</sup>
Fuerza exc media (N)	18	67,08	54,73	-37,10	176,30	0,679	0,000 <sup>b</sup>
Velocidad exc media (s)	18	0,06	0,07	-0,09	0,21	0,821	0,001 <sup>b</sup>
Potencia rel exc media (W/Kg)	18	2,28	2,04	-1,69	6,77	0,586	0,001 <sup>a</sup>
Fuerza rel exc media (N/Kg)	18	0,90	0,71	-0,51	2,15	0,616	0,000 <sup>b</sup>
Pmax rel exc (W/Kg)	18	2,61	1,94	-0,14	6,36	0,318	0,000 <sup>a</sup>

Tabla 11. Estadísticos descriptivos, pruebas de normalidad y efecto del programa de entrenamiento sobre los valores de fuerza, potencia y velocidad excéntrica. a: Prueba de rangos con signo de Wilcoxon; b: Prueba t de Student para muestras relacionadas.

Todas las pruebas han arrojado un resultado estadísticamente significativo, mostrando que el programa de entrenamiento ha incrementado el rendimiento de potencia, fuerza y velocidad. El tamaño del efecto ha sido grande para potencia excéntrica ( $d = 0,91$ ), potencia máxima excéntrica ( $d = 0,96$ ), potencia relativa excéntrica ( $d = 0,96$ ), potencia máxima relativa ( $d = 1,06$ ) y velocidad excéntrica ( $d = 0,85$ ); moderado-alto para fuerza relativa excéntrica ( $d = 0,70$ ); y moderado para fuerza excéntrica ( $d = 0,52$ ).

## V.5 Comparación de la eficacia sobre las fases excéntrica y concéntrica

En la tabla 12 se encuentran las diferencias en los parámetros de velocidad, fuerza y potencia durante las fases excéntricas y concéntricas del ejercicio. Se puede comprobar que el efecto del entrenamiento es similar en las dos fases, que se corrobora por los reducidos tamaños del efecto (d).

Valores absolutos	N	Macrociclo 1		Macrociclo 2		p	d
		Media	Desv. típ.	Media	Desv. típ.		
$\Delta P_{conc-exc}$	18	-27,91	103,10	-26,47	87,17	0,968 <sup>a</sup>	0,01
$\Delta P_{max conc-exc}$	18	-87,32	180,10	-18,71	102,69	0,248 <sup>b</sup>	0,38
$\Delta F_{conc-exc}$	18	-9,03	29,18	-8,54	26,50	0,492 <sup>b</sup>	0,02
$\Delta V_{conc-exc}$	18	-0,01	0,05	-0,01	0,04	0,915 <sup>a</sup>	0,00
Valores relativos	N	Media	Desv. típ.	Media	Desv. típ.	p	
$\Delta P_{rel conc-exc}$	18	-0,39	1,45	-0,37	1,23	0,935 <sup>a</sup>	0,01
$\Delta P_{max rel conc-exc}$	18	-1,23	2,54	-0,26	1,45	0,267 <sup>b</sup>	0,38
$\Delta F_{rel conc-exc}$	18	-0,13	0,41	-0,12	0,37	0,507 <sup>a</sup>	0,02

Tabla 12. Comparación de la eficacia del programa de entrenamiento en las fases excéntrica y concéntrica del ejercicio. a. Prueba t de Student para dos muestras relacionadas; b. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon.

## V.6 Relación de los efectos del programa de entrenamiento sobre la potencia, fuerza y velocidad con los parámetros antropométricos y la agilidad

Para estudiar la relación de los parámetros antropométricos y la agilidad con el efecto del programa de entrenamiento se han calculado los coeficientes de correlación de Pearson.

En la tabla 13 se encuentran las correlaciones para los valores de potencia, fuerza y velocidad durante la fase excéntrica del ejercicio de media sentadilla.

El **peso** se asocia de **forma directa con el incremento en la potencia, absoluta y relativa, y en la velocidad en la fase excéntrica del movimiento.**

Los **valores de potencia, fuerza y velocidad están asociados significativamente de forma directa, excepto la relación entre fuerza relativa y potencia máxima relativa, cuya asociación es marginalmente significativa.**

	Estatura (cm)	IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	10X5	Pexc	Pmax exc	Fexc	Vexc	Prel exc	Frel exc	Pmax rel exc
Peso (Kg)	<b>0,873</b>	-0,329	0,292	<b>0,554</b>	0,335	0,395	<b>0,501</b>	<b>0,505</b>	0,334	0,273
	0,000	0,183	0,239	0,017	0,174	0,105	0,034	0,033	0,175	0,273
Estatura (cm)		<b>-0,747</b>	0,206	0,432	0,254	0,117	0,461	0,390	0,057	0,203
		0,000	0,411	0,073	0,310	0,645	0,054	0,109	0,822	0,419
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )			-0,014	-0,086	-0,047	0,308	-0,210	-0,072	0,342	-0,033
			0,955	0,735	0,854	0,214	0,402	0,776	0,165	0,897
10X5				-0,044	-0,144	-0,056	-0,079	-0,076	-0,088	-0,174
				0,862	0,568	0,827	0,756	0,765	0,729	0,489
Pexc					<b>0,690</b>	<b>0,740</b>	<b>0,963</b>	<b>0,997</b>	<b>0,714</b>	<b>0,659</b>
					0,002	0,000	0,000	0,000	0,001	0,003
Pmax exc						<b>0,516</b>	<b>0,619</b>	<b>0,677</b>	<b>0,488</b>	<b>0,997</b>
						0,028	0,006	0,002	0,040	0,000
Fexc							<b>0,552</b>	<b>0,733</b>	<b>0,997</b>	<b>0,487</b>
							0,018	0,001	0,000	0,041
Vexc								<b>0,968</b>	<b>0,527</b>	<b>0,595</b>
								0,000	0,025	0,009
Prel exc									<b>0,713</b>	<b>0,651</b>
									0,001	0,003
Frel exc										0,464
										0,053

Tabla 13. Correlaciones de Pearson para estudiar la relación lineal de los parámetros antropométricos, agilidad y efecto del programa de entrenamiento sobre la potencia, fuerza y velocidad excéntrica.

Los parámetros antropométricos no se encuentran relacionados de forma estadísticamente significativa con los efectos del programa de entrenamiento sobre los parámetros de potencia, fuerza y velocidad (Tabla 14).

El **efecto positivo sobre la potencia concéntrica** se asocia con un **efecto positivo sobre la potencia relativa y la velocidad concéntricas**. El **incremento de potencia máxima** se relaciona con el **aumento en la potencia máxima relativa**, al igual que ocurre entre la **fuerza concéntrica absoluta y relativa**. Por último, el **aumento en velocidad concéntrica** se asocia con un **incremento de la potencia relativa concéntrica**.

	Pconc	Pmax conc	Fconc	Vconc	Prel conc	Frel conc	Pmax rel conc
Peso (Kg)	-0,076	-0,413	-0,165	-0,092	-0,143	-0,234	-0,437
	0,766	0,088	0,513	0,718	0,572	0,350	0,070
Estatura (cm)	0,091	-0,446	-0,301	0,155	0,030	-0,360	-0,462
	0,720	0,064	0,225	0,538	0,905	0,143	0,054
IMC (Kg/m2)	-0,273	0,282	0,361	-0,420	-0,248	0,381	0,281
	0,273	0,257	0,141	0,083	0,322	0,118	0,258
10×5	-0,014	-0,099	-0,044	0,020	-0,029	-0,063	-0,098
	0,958	0,696	0,862	0,936	0,911	0,803	0,698
Pconc		0,394	0,387	<b>0,939</b>	<b>0,997</b>	0,393	0,415
		0,106	0,113	0,000	0,000	0,107	0,087
Pmax conc			0,355	0,254	0,427	0,378	<b>0,999</b>
			0,148	0,309	0,077	0,122	0,000
Fconc				0,081	0,392	<b>0,997</b>	0,360
				0,750	0,107	0,000	0,143
Vconc					<b>0,939</b>	0,095	0,280
					0,000	0,707	0,261
Prel conc						0,404	0,450
						0,096	0,061
Frel conc							0,385
							0,114

Tabla 14. Correlaciones de Pearson para estudiar la relación lineal de los parámetros antropométricos, agilidad y efecto del programa de entrenamiento sobre la potencia, fuerza y velocidad concéntrica.

La relación de los parámetros antropométricos y la agilidad con la eficacia del programa de entrenamiento sobre altura del salto, elasticidad, repeticiones, par de potencia y fatiga, estudiada por medio del coeficiente de correlación de Pearson, está en la tabla 15.

La **ganancia de altura de SJ** se asocia de forma **inversa con el peso, la estatura y la ganancia de elasticidad**, mientras que la relación es **directa con IMC y ganancia de altura en CMJas**.

La **ganancia de altura de CMJ** se relaciona de forma **positiva con la ganancia de elasticidad**.

La **ganancia de altura CMJas** se relaciona **directamente con IMC, ganancia de SJ e incremento de repeticiones**, y de forma **inversa con la estatura**.

El **incremento de la elasticidad** también está asociado **directamente con la estatura y con el par de potencia**.

Por último, el **incremento de repeticiones** está asociado **positivamente con el IMC**.

	SJ	CMJ	CMJas	Elasticidad %	Repeticiones	Par de potencia	Fatiga
Peso (Kg)	<b>-0,479</b>	0,016	-0,416	0,406	-0,021	0,358	0,284
	0,044	0,949	0,086	0,094	0,935	0,145	0,254
Estatura (cm)	<b>-0,675</b>	-0,045	<b>-0,543</b>	<b>0,495</b>	-0,300	0,439	0,133
	0,002	0,859	0,020	0,037	0,227	0,069	0,598
IMC (Kg/m <sup>2</sup> )	<b>0,672</b>	0,127	<b>0,481</b>	-0,402	<b>0,550</b>	-0,358	0,124
	0,002	0,616	0,043	0,099	0,018	0,145	0,624
10X5	-0,009	-0,177	-0,007	-0,132	-0,041	0,017	0,067
	0,972	0,482	0,979	0,602	0,872	0,946	0,793
SJ		0,332	<b>0,525</b>	<b>-0,524</b>	0,274	-0,321	0,063
		0,178	0,025	0,026	0,271	0,194	0,805
CMJ			0,363	<b>0,609</b>	0,303	0,284	0,092
			0,139	0,007	0,222	0,254	0,717
CMJas				-0,100	<b>0,480</b>	-0,223	0,194
				0,693	0,044	0,373	0,441
Elasticidad %					0,015	<b>0,584</b>	0,010
					0,952	0,011	0,968
Repeticiones						-0,251	0,219
						0,316	0,383
Par de potencia							-0,255
							0,307

Tabla 15. Correlaciones de Pearson para estudiar la relación lineal de los parámetros antropométricos, agilidad y efecto del programa de entrenamiento sobre la altura de salto, elasticidad, repeticiones, par de potencia y fatiga.

## **VI. Comentarios y discusión**

La aplicación de un programa de entrenamiento consistente en la realización de medias sentadilla con carga externa moderada y alta velocidad, produce un *incremento de los valores de fuerza y potencia absoluta y relativa en futbolistas profesionales*, así como en la *velocidad de la contracción*, hecho demostrado en los resultados que implica la aceptación de la hipótesis 4.

La mejoría observada en estos parámetros está en la línea de los hallazgos obtenidos por Jovanovic, Sporis, Omrcen y Fiorentini (2012), quienes concluyen que el entrenamiento de las extremidades inferiores, basado en la velocidad de las contracciones excéntricas y concéntricas, parece ser un método efectivo que aumenta determinados aspectos del rendimiento de la potencia en jugadores jóvenes de fútbol.

*Consecuentemente, el número de repeticiones y el par de potencia también han aumentado*, verificando el enunciado de la hipótesis 1. Este esfuerzo adicional podría estar relacionado con el hecho de que la fatiga no haya disminuido, por lo que la hipótesis 2 queda rechazada.

En relación con la potencia explosiva evaluada mediante la plataforma de salto Bosco, se ha producido un *incremento significativo de la altura de salto en las modalidades de SJ, CMJ, y CMJas*, lo que supone la aceptación de la hipótesis 3.

El efecto del ejercicio de sentadillas sobre la potencia explosiva en jugadores de fútbol ya ha sido puesta de manifiesto por Chelly et al (2009), quienes también observaron un incremento de la potencia de salto en SJ. Sin embargo, no hallaron ningún efecto significativo sobre la modalidad CMJ, lo que parece indicar que el entrenamiento consistente en la realización de sentadillas ejerce sus efectos principalmente sobre el salto sin contramovimiento. En este estudio se observa un menor tamaño del efecto sobre SJ, lo que puede estar relacionado con el hecho que la elasticidad no ha aumentado con el entrenamiento, ya que es conocido el papel que juega esta capacidad en los movimientos de baja amplitud.

Además, el número de repeticiones ha aumentado, lo que muestra una mejora en la resistencia de los atletas.

Por otra parte, los valores de fuerza también han mejorado como consecuencia de la velocidad de entrenamiento con carga externa.

Hay escasez de estudios sobre la influencia del entrenamiento de la velocidad en los resultados de fuerza y de potencia en los futbolistas. En las personas sanas de edad avanzada, se ha observado que el entrenamiento de resistencia -que se centra en la velocidad de movimiento-, mejora la potencia de las piernas y la fuerza máxima sustancialmente (Earles, Judge y Gunnarsson, 2000).

Se ha comprobado que el aumento de velocidad está significativamente relacionado con mejores resultados en la potencia relativa y absoluta, tanto en la fase excéntrica como concéntrica del movimiento de media sentadilla. Además, durante la fase excéntrica se observa también una relación significativa entre el aumento de la velocidad y el incremento de la fuerza, sin que este hallazgo haya podido replicarse en la fase concéntrica.

Este hecho puede ser debido a que el movimiento excéntrico está más vinculado con el desarrollo de la fuerza que el movimiento concéntrico (Seger, Arvidsson y Thorstensson, 1998). Por lo tanto, la mejora de la fuerza es mayor en la fase excéntrica que en la fase concéntrica del ejercicio de media sentadilla.

Hay dos hallazgos importantes en este trabajo: a) *el entrenamiento de media sentadilla con carga externa fija realizada a máxima velocidad está relacionada con el aumento de potencia media y máxima, la fuerza y la velocidad, tanto en la fase excéntrica y concéntrica del movimiento*; b) *el incremento de la potencia, la fuerza y la velocidad es similar en las fases excéntrica y concéntrica del movimiento*, lo que verifica la hipótesis 5.

Tras la aplicación del programa de entrenamiento, las diferencias entre la potencia, fuerza y velocidad de las fases concéntrica y excéntrica del movimiento, se mantienen constantes, lo que sugiere un efecto de similar magnitud sobre dichos parámetros en ambas fases.

Sin embargo, al estudiar la interrelación de los efectos del entrenamiento durante las fases excéntrica y concéntrica se ha hallado que la vinculación de la velocidad, la fuerza y la potencia -tanto en valores absolutos como relativos-, al peso corporal, es mayor en la fase excéntrica. En ésta, el incremento de la velocidad de ejecución está relacionado con el incremento de la potencia y fuerza absolutas y relativas.

No obstante, en la fase concéntrica, el incremento de la velocidad únicamente está relacionado con el aumento de la potencia media absoluta y relativa, pero no con la fuerza y la potencia máxima.

Este hecho puede indicar que la transferencia de los efectos del entrenamiento, basado en la velocidad, tiene su máxima aplicación durante la fase excéntrica del ejercicio,

mientras que en la fase concéntrica, dicha transferencia se produce en el ámbito de la potencia media, pero no de la potencia máxima y la fuerza.

En todo caso, se demuestra que el entrenamiento de resistencia -consistente en medias sentadillas de espalda con carga externa-, es eficaz para aumentar la potencia, la fuerza y la velocidad, tanto durante el movimiento concéntrico como excéntrico del ejercicio, lo cual beneficioso para el rendimiento de los jugadores en el campo, ya que se demuestra que los valores de potencia se incrementan aún más, cuando se produce la combinación de ambos tipos de movimiento que cuando se realizan, exclusivamente, contracciones concéntricas (Wilson, Murphy y Pryor, 1994).

En cuanto a los resultados de la efectividad del entrenamiento de resistencia sobre la potencia de las piernas con ejercicio de media sentadilla de espalda, son similares a los de estudios previos como lo publicado por Hermassi, Chelly, Tabka, Shephard y Chamari, (2011), quienes comprueban que el ejercicio mejora el rendimiento deportivo en jugadores junior de fútbol, incrementando la potencia máxima.

La mayoría de los estudios que han examinado la relación entre el entrenamiento de media sentadilla de espalda y los resultados de fuerza inciden en la importancia de la realización del máximo esfuerzo durante la fase concéntrica del movimiento.

Según Requena et al. (2009), el ejercicio de media sentadilla concéntrica realizado contra carga externa, se asocia principalmente con la producción de potencia máxima, que bien puede estar relacionado con la mejora del rendimiento en la velocidad en carrera y en la altura de salto (Wisloff et al, 2004), que es esencial para un buen rendimiento en el campo, ya que los movimientos musculares explosivos en la carrera constituyen entre el 1 y el 11% de la distancia total recorrida durante un partido (Reilly y Thomas, 1976).

El entrenamiento combinado de fuerza de alta intensidad y un programa de entrenamiento basado en la velocidad para mejorar el rendimiento de potencia de futbolistas, parece dar mejores resultados que el entrenamiento de resistencia tradicional (Kotzamanidis, Chatzopoulos, Michailidis, Papaiaikovou y Patikas, 2005).

Sin embargo, hay que destacar que los resultados presentados se obtienen en una muestra de jugadores de fútbol bien entrenados. Los efectos de la carga externa sobre los resultados de potencia son dependientes del historial de entrenamiento (Pazin, Bozic, Bobana, Nedeljkovic y Jaric, 2011), que señala la necesidad de encontrar la carga óptima para maximizar la mejora de potencia.

El mecanismo subyacente al aumento de la fuerza después de la realización de un entrenamiento muscular puede relacionarse con la potenciación post-activación (PAP) (Witmer, Davis y Moir, 2010). Provocar el mecanismo PAP durante el entrenamiento de la resistencia, mediante la combinación de ejercicios con cargas elevadas y con cargas más ligeras en la misma sesión, puede vincularse al incremento mayor en la fuerza explosiva,

hecho de suma importancia en el ámbito de aplicación a los jugadores profesionales de fútbol.

El trabajo excéntrico se relaciona, fisiológicamente, con el aumento de longitud de la fibra muscular; el ejercicio concéntrico, produce un acortamiento de la longitud o la ausencia de cambio de longitud (Butterfield, Leonard y Herzog, 2005; Lynn y Morgan, 1994). La longitud de la fibra se asocia mecánicamente al rango de excursión muscular, la velocidad máxima de acortamiento y, en consecuencia, la fuerza muscular (Blazevich, Cannavan, Coleman y Horne, 2007), por lo que pueden esperarse diferencias en los resultados de potencia, y, en consecuencia, en la fuerza y la velocidad de movimiento, entre las fases excéntrica y concéntrica del ejercicio de media sentadilla.

Sin embargo, después del entrenamiento, no hay diferencias en las ganancias de potencia, de fuerza y de velocidad entre ambas fases excéntrica y concéntrica. Estos resultados contradicen los hallazgos de Roig et al. (2009), quienes sugieren que el entrenamiento excéntrico es mejor que el entrenamiento concéntrico para aumentar la fuerza.

La causa de estos efectos combinados de ejercicio excéntrico y concéntrico en un ciclo de estiramiento-acortamiento (SSC), se ha observado que se asocia con mayores aumentos en los resultados de potencia, que los producidos por una contracción concéntrica sencilla (Wilson et al., 1994). En un SSC, la intensidad máxima, correspondiente a las fases excéntrica y concéntrica, parece corresponder a la máxima intensidad concéntrica, de manera que se supone que la contracción excéntrica está por debajo de su máximo potencial. Cuando se equiparan ambas intensidades, los estudios muestran que no hay diferencia entre el ejercicio concéntrico y excéntrico en la mejora de la fuerza (Mayhew, Rothstein, Finucane y Lamb, 1995).

## **VII. Conclusiones**

Los resultados obtenidos permiten el establecimiento de las siguientes conclusiones, en función de los objetivos establecidos:

1. El entrenamiento de potencia a través del ejercicio de media sentadilla mejora la potencia muscular en jugadores de fútbol.
2. El entrenamiento con cargas elevadas provoca una mejora de la potencia muscular frente al trabajo de fatiga por repeticiones, sin que se haya producido un incremento del nivel de fatiga relacionado con el aumento del esfuerzo.
3. La fuerza explosiva, evaluada a través de la altura del salto, se ha incrementado significativamente en los futbolistas participantes, a pesar que la elasticidad, posiblemente involucrada en la capacidad de salto con contramovimiento, ha permanecido invariable.
4. Los valores de fuerza, potencia y velocidad mejoran notablemente por el entrenamiento, tanto en la fase concéntrica como excéntrica del ejercicio de media sentadilla.



## **VIII. Aplicaciones Prácticas**

Las aplicaciones prácticas derivadas de los resultados de este estudio están relacionadas con dos aspectos esenciales de la carrera del futbolista profesional:

- a) En primer lugar, la eficacia del protocolo de entrenamiento de la fuerza y la potencia está directamente relacionada. Indica que se trata de un procedimiento adecuado para desarrollar estas capacidades atléticas en los futbolistas de élite. El aumento de la potencia y de la fuerza tiene reflejo, no solamente en el ámbito del laboratorio, sino que supone la adquisición de una mejor capacidad de respuesta en el campo de juego.

Los atletas bien entrenados en el apartado físico manifiestan un mejor comportamiento deportivo, especialmente cuando el aumento de la resistencia física se ha realizado sin llevar el sistema músculo-esquelético hasta la extenuación.

- b) En segundo lugar, en íntima vinculación con uno de los aspectos más característicos del protocolo aplicado en este estudio, -que consiste en la carga externa moderada con la que son realizados los ejercicios de media sentadilla-, se encuentra la evidencia que este sistema de entrenamiento no somete al sistema músculo-esquelético a tensiones extremas.

Las lesiones son uno de los factores más condicionantes del progreso de la carrera profesional de un futbolista, por lo que los preparadores físicos deben tener en cuenta que, los ejercicios para mejorar la condición atlética, no supongan un riesgo de infligir al futbolista un daño corporal.

En este sentido, los resultados de este estudio demuestran que el desarrollo de la fuerza y la potencia se pueden llevar a cabo de forma eficaz, reduciendo la carga externa y, por lo tanto, el riesgo de producir una lesión.

En definitiva, se puede afirmar que el protocolo de entrenamiento diseñado ha tenido una eficacia en todos los parámetros evaluados, por lo que se ha demostrado que es un programa de entrenamiento altamente recomendable para mejorar las capacidades físicas de los futbolistas profesionales.

Además, durante la aplicación del protocolo de entrenamiento ninguno de los atletas participantes ha sufrido lesión alguna derivada de la intervención, lo cual, unido a que este programa no requiere someter a los futbolistas a esfuerzos relacionados con cargas máximas, podría suponer alargar la carrera profesional de estos jugadores, así como permitir a los mismos afrontar las largas temporadas de las ligas de fútbol profesional con mejores expectativas de rendimiento al máximo nivel en todo el período liguero.

## **IX. Indicios de Calidad**

### Carta de aceptación del artículo

Jan 26, 2014

RE: JSCR-08-3751R2, entitled **"Velocity based training of lower limb to improve absolute and relative power outputs in concentric phase of half-squat in soccer players"**

Dear Dr. Lancho,

I am pleased to inform you of the official acceptance of your manuscript, JSCR-08-3751R2, entitled "Velocity based training of lower limb to improve absolute and relative power outputs in concentric phase of half-squat in soccer players" for publication in the Journal of Strength and Conditioning Research. Congratulations to you and your co-authors in meeting the very high standard of quality that is required for publication in this Journal.

The production staff at Lippincott, Williams and Wilkins (LWW) will be sending galley proofs and work with you to put your manuscript into proper format for publication.

I want to take this opportunity to remind you to check the page proofs promptly and carefully for accuracy when you eventually receive them. You will receive them via email so please be attentive to such communications.

Finally, please be aware that there is usually a delay at this point in time of about 6-9 months before the article will appear in print, due to the high demand for space in the Journal. However, your paper will appear in an "ahead of print" format prior to its formal publication.

We look forward to the submission of other manuscripts from your laboratory. Thank you for your contribution to the JSCR.

We wish you all the best in your future research projects.

Kind Regards,

N. Travis Triplett, PhD, CSCS\*D, FNCSA  
Senior Associate Editor

-----

CC: William J. Kraemer, Ph.D., CSCS\*D, FNCSA  
Editor-In-Chief

Impact Factor: **1.795** – n° 31/84 – 2° Cuartil

Total Cites: n° **8/84** – Primer Cuartil

5-Year Impact Factor: **2.265** – n° 30/84 – 2° Cuartil

## **PubMed** (Prepublicación que aparece en PubMed)

[US National Library of Medicine](#) [National Institutes of Health](#)

Result Filters

[Send to:](#)

[J Strength Cond Res.](#) 2014 Feb 10. [Epub ahead of print]

# Velocity based training of lower limb to improve absolute and relative power outputs in concentric phase of half-squat in soccer players.

[Ramírez JM](#)<sup>1</sup>, [Núñez VM](#), [Lancho C](#), [Poblador MS](#), [Lancho JL](#).

Abstract

### **PURPOSE:**

The power production is force-velocity related. We hypothesized that speed based training of lower limb using half-squat can lead to absolute and relative power improvement in concentric movement, with a same external load.

### **METHODS:**

One group of 19 soccer players (age 24.4 yr, SD = 3.7 yr) participated in a pretest-posttest power training protocol, consistent in 2 training sessions per week during 10 weeks, targeted to work the leg power by performing half-squat with fixed external load (M = 71.7; SD = 5.4), at 65% of 1RM. Measurements of power (absolute -W-, and relative -W/Kg-), force (N) and velocity (m/s) (mean and peak) were made from a concentric movement of a half-squat exercise with a fixed external load.

### **RESULTS:**

The training protocol increased relative power (M = 47.5, SD = 47.5; p < .001) and absolute power (M = 169.2; SD = 95.5; p < .001). Also, number of repetitions (M = 2.9; SD = 2.4; p < .01), force (M = 66.6; SD = 36.7; p < .001) and velocity (M = .1; SD = .1; p < .001) were increased. However, only improved velocity was related to changes in absolute (r = .939; p < .001) and relative (r = .757; p < .001) power.

### **CONCLUSION:**

The speed based training, combined with moderate to high external load can lead to an improvement of absolute and relative power in concentric phases of half-squat in soccer players. This could be important for improving the performance of the players in the field.

PMID: 24513616

## Manuscrito original del artículo

### ABSTRACT

**Purpose:** The power production is force-velocity related. We hypothesized that speed based training of lower limb using half-squat can lead to absolute and relative power improvement in concentric movement, with a same external load. **Methods:** One group of 19 soccer players (age 24.4 yr, SD = 3.7 yr) participated in a pretest-posttest power training protocol, consistent in 2 training sessions per week during 10 weeks, targeted to work the leg power by performing half-squat with fixed external load (M = 71.7; SD = 5.4), at 65% of 1RM. Measurements of power (absolute -W-, and relative -W/Kg-), force (N) and velocity (m/s) (mean and peak) were made from a concentric movement of a half-squat exercise with a fixed external load. **Results:** The training protocol increased relative power (M = 47.5, SD = 47.5;  $p < .001$ ) and absolute power (M = 169.2; SD = 95.5;  $p < .001$ ). Also, number of repetitions (M = 2.9; SD = 2.4;  $p < .01$ ), force (M = 66.6; SD = 36.7;  $p < .001$ ) and velocity (M = .1; SD = .1;  $p < .001$ ) were increased. However, only improved velocity was related to changes in absolute ( $r = .939$ ;  $p < .001$ ) and relative ( $r = .757$ ;  $p < .001$ ) power. **Conclusion:** The speed based training, combined with moderate to high external load can lead to an improvement of absolute and relative power in concentric phases of half-squat in soccer players. This could be important for improving the performance of the players in the field.

**Keywords:** speed, force, leg, exercise.

### INTRODUCTION

Running is the predominant activity of soccer players, yet explosive type actions such as sprints, jumps, duels, and kicking are important factors for successful performance (2). Factors such as acceleration, running, velocity, and capacity to release energy are of major importance (7). Because soccer involves high intensity intermittent exercise, it has been suggested that a high anaerobic power is a desirable feature of competitive soccer players (2, 1). Fitness performance from those who achieved international or professional status shows significant differences for sprint and jump, peak concentric torque, maximal anaerobic power and other qualities in comparison to those who remained amateur (6). This suggests that improvements in fitness performance, such as power outputs, can play an important role in their chances of promoting higher achievement levels. Moreover, anaerobic power may be as important for performance as for injury prevention (12). The better performance of professional soccer players requires the implementation of specific training methods for athletes leading to an increase in strength and power parameters, while taking into account the importance of injury prevention. We approach a critical practical issue of this paper: it is not necessary to lead the muscle to the limit of its strength to improve the power outputs of the soccer players. Furthermore, this orientation would have a beneficial effect on injury prevention. The selection of exercises that will enhance power and reduce injury is thus a key element of program design for coaches working in soccer.

Power is defined as the rate of performing work; the product of force and velocity, the rate of transformation of metabolic potential energy to work or heat (17). Maximal muscular power is obtained at optimal values of force and velocity, since power is the product of these two parameters (19). The ability to generate maximal power during complex motor skills is of paramount importance to successful athletic performance, which is affected by a range of interrelated factors (3), such as heart rate, skin temperature, or blood lactate accumulation (18). Strength, since an individual cannot possess a high level of power without first being relatively strong (4) and velocity are also related to power performance. Maximal muscular power is determined and limited by the force-velocity relationship and affected by the length-tension relationship.

The effects of speed training methods have been investigated (8), and it appears to be an effective way of improving some segments of power performance in soccer players. However, it is not clear that

speed training is more effective than strength training to improve power (20). Different loading schemes can lead to similar improvements in power related abilities, regardless of the load or velocity used (13). Moreover, the combination of a heavy-resistance and running-speed training program on vertical jump performs better than isolated resistance training without speed training (10). During concentric contraction muscle shortens as it contracts. These methods has been shown to be effective in increasing muscle strength, in spite of eccentric training, which seems to be more successful in promoting such muscle strength gains (15). Concentric half-squat exercise is related with functional outcomes when it is performed against external loading within a range of the load, in the case of which the maximal power output is attained (14). In this sense, the combination of moderate to high load with maximum number of repetitions at a given velocity could be more efficient. Traditionally, the training protocols used for increasing power outputs consisted in a set of exercises in which athletes lifted heavy weights (nearly 1RM) with few repetitions. Otherwise, performing a large number of repetitions with low weight was related to the increased endurance. We hypothesized that the combination of both types of training protocols in the same exercise can produce a positive effect on power outputs. This type of power training, in which athletes train for a maximal amount of repetitions above a given velocity threshold with a set load, would lead to prevent a great number of injuries.

The aim of this study is to determine whether performing maximal amount of repetitions above a pre-determined velocity with a pre-determined load would lead to increased absolute and relative concentric leg power in soccer players.

## **METHODS**

### *Experimental Approach to the Problem*

In order to test if velocity based training, with an external load of 65% of 1RM, increases absolute and relative power outputs, a one group pretest-posttest experimental design (O1 X O2) was conducted. Ideally, absolute and relative power increase between pretest and posttest (dependent variables) are due to training protocol. Also measures of force, velocity and number of repetitions were taken into account. This approach allowed us to assess the effect of a combined training of strength and endurance on power outputs of the soccer players.

### *Subjects*

Nineteen healthy male soccer players from a Spanish second division professional team volunteered to participate in a pretest-posttest power training protocol. Before the study, each subject was informed about the nature of the study, reviewing and signing informed consent forms, which was approved by the Institutional Review Board for use of subjects of the School of Medicine of the University of Córdoba. One subject had to leave the training program due to injury. Finally, eighteen subjects were measured in posttest. The mean age and standard deviation (in brackets) of these eighteen soccer players was 23.4 (3.7) years (range 19-31), weight was 73.4 (3.6) Kg and height was 179.3 (6.0) cm.

### *Procedures*

Prior to the implementation of the training program, a structural survey, functional description and ultrasound examination of the participants were conducted, targeted to rule out any malfunctions. Pretest measures were taken in the Medical Sports Centre of the University of Córdoba, on nineteen subjects. A ten week training program protocol with two weekly sessions was applied. Posttest measures were taken on eighteen survivors. The tests were conducted in the week before and the week after the 10-week training period. All the practice and testing took place at the same time of the day to control any circadian variation in performance. The subjects were asked to participate in two training sessions per week (Tuesday and Friday) during ten consecutive weeks before the soccer training session, targeted to work the leg power by performing half-squats with a fixed external load, which was established as 65% of one repetition maximum (1RM). 1RM was assessed following the procedure described by Kraemer and Fry (1996) (11), consisting of a first warm-up set of 8-10

repetitions at 50% of 1RM. A second warm-up of 3-5 repetitions with approximately 75% of 1RM, and third warm-up with 90% of 1RM followed. Finally, the participants performed 1RM exercises by increasing the load during consecutive trials. When participants were unable to correctly perform a half-back squat, 1RM was established ( $M = 110.38$  Kg;  $SD = 17.8$ ), which was ranged between 103-124 Kg ( $M = 118.39$ ;  $SD = 19.12$ ). The external load to be used in the training program, which was selected based on 65% of 1RM, was ranged between 65-85 Kg ( $M = 71.7$ ;  $SD = 5.4$ ), representing 97.7% of body weight (IC95% 94.0-101.4). Athletes participated in each session 4 sets of 10-25 repetitions, according to the maximum power output measured in test. When the power level of two successive repetitions was below the minimum the series ended. The feedback was given on sound and movement speed ( $\pm 10\%$ ). The recovery period between each set was three minutes. Training sessions lasted 45 minutes and began with a standard 15-minute warm-up: five minutes of jogging and three sets of 10, 15 and 20 repetitions respectively of the same test exercise to the 50, 60 and 75% of the corresponding external load. The athletes were instructed to not jump and to keep their heels on the floor.

### *Measurements*

Measurements in pretest and posttest of power (absolute -W-, and relative -W/Kg-), force (N) and velocity (m/s) (mean and peak) were made from a concentric movement of a half-squat exercise with a fixed external load. Participants were encouraged to perform as many repetitions as fast as possible. For 15 seconds, subjects performed successive half-squat repetitions at maximum speed. Prior to this, they were informed of the correct leg-thigh angle to effect the displacement. Athletes, before measurement, performed a 15 minute warm-up of jogging (5 minutes) and three sets of 10, 15 and 20 repetitions respectively of the same test exercise to the 50, 60 and 75% of the corresponding external load. For measuring power, force and velocity, a linear encoder connected to Muscle lab-Bosco System® (Ergotest Technology – MA.GI.CA.srl, Roma) was used.

### *Statistical analysis*

Means, standard deviations, maximums and minimums were used to describe all the variables. In order to study the efficacy of the training program, two paired sample comparisons were computed by means of t-test or its non-parametric equivalent, that is, Wilcoxon signed-rank test. Previously, Shapiro-Wilk normality tests were run out for differences between pretest-posttest. Cohen's effect size was calculated by dividing the mean change and standard deviation baseline. Pearson's product-moment correlation was also calculated to determine the relationship between selected variables. A level of  $p < 0.05$  was selected to indicate statistical significance.

## **RESULTS**

Table 1 shows descriptive statistics (Min, Max, M, SD) in pretest and posttest. From pretest to posttest, the number of repetitions increased 18.6%, relative power improvement was 8.2%, absolute power increased 12.6%, force output increased 4.0% and velocity 12.5%. Results of the sample paired tests showed a significance change between pretest and posttest in all selected variables (table 1). The Shapiro-Wilk normality test was applied to these differences (table 1), showing that  $\Delta$ Repetitions ( $z = .834$ ;  $p = .005$ ) and  $\Delta$ Force ( $z = .891$ ;  $p = .040$ ) do not follow the normal distribution. In these variables, non-parametric Wilcoxon signed-rank tests were run out, and statically significant differences were detected between the initial and the final measurements ( $\Delta$ Repetitions:  $z = -3.118$ ;  $p = .002$ ; Cohen's  $d = 1.93$ ;  $\Delta$ Force:  $z = -3.636$ ;  $p = .000$ ; Cohen's  $d = .50$ ). The  $\Delta$ Velocity t-test indicates an improvement in speed performance between the pretest and the posttest [ $t(17) = 5.426$ ;  $p = .000$ ; Cohen's  $d = 1.00$ ]. Regarding the mean power in concentric half-squats, there was also an increase in the relative [ $t(17) = 7.138$ ;  $p = .000$ ; Cohen's  $d = 1.00$ ] and absolute [ $t(17) = 7.303$ ;  $p = .000$ ; Cohen's  $d = .88$ ] values between the pretest and the posttest. Cohen's coefficient showed a moderate to large effect size in all variables.

[Table 1 about here]

Linear association between  $\Delta$ variables by Pearson's product-moment correlations (table 3) shows that there is a positive correlation between the  $\Delta$ Absolute and  $\Delta$ Relative power ( $r = .997, P <.001$ ), and between  $\Delta$ Force and the  $\Delta$ Repetitions ( $r = .832, p <.001$ ). Of greater interest is the significant correlation between  $\Delta$ Velocity and  $\Delta$ Relative power ( $r = .939, P <.001$ ) and between  $\Delta$ Velocity and  $\Delta$ Absolute power ( $r = .939, p = <.001$ ), which indicates that improvements in velocity are highly related to improvements in power in concentric half-squats. However,  $\Delta$ Force is associated with some of the measures of  $\Delta$ Power, either relative or absolute.

[Table 2 about here]

## DISCUSSION

These results show that a specific velocity training program of lower limbs in concentric half-squats with a fixed external load improves relative and absolute power outputs in healthy male soccer players. Such results match those from Jovanovic *et al* (8), who conclude that a speed training method appears to be an effective way of improving some segments of power performance in young soccer players. In our study, absolute and relative power outputs in concentric phases of half-squats were improved after the implementation of velocity-based training protocol. In addition, the number of repetitions increased, showing an improvement in resistance output. On the other hand, force values were improved as a consequence of training velocity with an external load. There is a lack of studies regarding the influence of speed training on the strength and power outputs of soccer players. In healthy older persons it has been observed that resistance training focusing on speed of movement substantially improved leg power and maximal strength (5).

We have observed that increased velocity is significantly related to better measurements of relative and absolute power, according to experimental efficacy of speed training, while increased force is related to any measurement of power, which is contradictory to results obtained in other studies (21) where strength is strongly correlated with vertical jump height in elite soccer players. This may be due to the measurements on concentric phase of half-squat, since it is known that eccentric movement is stronger related to strength development than concentric is (16). Force improvement related to a specific training of velocity is greater in eccentric than in a concentric phase of half-squats. In any event, it has been observed that the only parameter related to force improvement is a greater number of repetitions, but not greater velocity. This could seem contradictory, but it is not since it could be argued that a greater number of repetitions is not related with greater velocity, probably due to an undetected statistically inverse relationship between velocity and number of repetitions. Moreover, since our training program included set velocity and load, in which each athlete trains for a maximal amount of repetitions above a given velocity threshold with a set load, it seems logical that the number of repetitions would be the largest adaptation. Other methods of using velocity/power feedback during training (set load and set repetitions, or set velocity and set repetitions) probably would lead athletes to a larger velocity or force adaptation. Furthermore, it is likely that the instruction given to the athletes to keep their feet on the floor could lead to the inability to determine changes in velocity, due to that the deceleration of the bar would have prevented from a genuine maximal velocity during each repetition.

However, it is necessary to replicate these results in a randomized clinical trial, since our one group pretest-posttest design doesn't allow us to conclude that power improvement is specifically due to training. Moreover, some effects could not be detected sufficiently as a consequence of a low statistical power from a small sample size.

Therefore, we conclude that speed training in eccentric half-squats of lower limbs can lead to an improvement of absolute and relative power outputs.

## PRACTICAL APPLICATIONS

The results obtained in the present study could be important for a better field performance of soccer players, as speed based training can reach power improvements without an increasing external load nearly 1RM. The running speed, which is a major issue in soccer, is related to the ability to apply more

force on the ground. A high proportion of plays involves the need to use the sprint, so increasing the power of the lower limbs will give player a competitive edge. The vertical jumping is another important item for soccer players that could be improved by increasing the power capability of the legs, which in turn is related to more opportunities to dispute certain plays in which the ball is on the air. Also the speed of the shot is associated to a greater leg power. All these performance improvements can be achieved by training lower body power based on a greater concentric contraction speed and a moderate external load. Coaches or practitioners should keep in mind that it is not necessary to increase external load to improve relative and absolute power outputs.

## References

- (1) Al-Hazzaa HM, Almuzaini KS, Al-Refaee SA, et al. Aerobic and anaerobic power characteristics of Saudi elite soccer players. *J Sports Med Phys Fitness* 41: 54-61, 2001.
- (2) Cometti G, Maffiuletti NA, Pousson M, Chatard JC, and Maffulli N. Isokinetic Strength and Anaerobic Power of Elite, Subelite and Amateur French Soccer Players. *Int J Sports Med* 22: 45-51, 2001.
- (3) Cormie P, McGuigan MR, and Newton RU. Developing Maximal Neuromuscular Power. *Sports Med* 41(1): 17-38, 2011.
- (4) Cormie P, McGuigan MR, and Newton RU. Developing Maximal Neuromuscular Power: Part 2 - Training Considerations for Improving Maximal Power Production. *Sports Med* 41(2): 125-146, 2011.
- (5) Earles DR, Judge JO, and Gunnarsson OT. Velocity training induces power-specific adaptations in highly functioning older adults. *Arch Phys Med Rehabil* 82: 872-878, 2000.
- (6) Gall F, Carling C, Williams M, and Reilly T. Anthropometric and fitness characteristics of international, professional and amateur male graduate soccer players from an elite youth academy. *J Sci Med Sport*. 13(1): 90-95, 2010.
- (7) Hoff J, Wisloff U, Engen LC, Kemi O, and Hegerud J. Soccer specific aerobic endurance training. *Br J Sports Med* 36: 218-221, 2002.
- (8) Jovanovic M, Sporis G, Omrcen D, and Fiorentini F. Effects of speed, agility, quickness training method on power performance in elite soccer players. *J Strength Cond Res* 25(5): 1285-1292, 2011.
- (9) Knuttgen HG and Komi PV. Basic Considerations for Exercise. In: *Strength and power in sport, Volume III of the Encyclopaedia of Sports Medicine*, 2nd ed. P. V. Komi, ed. Hoboken: Willey-Blackwell, 2003. pp. 3-7.
- (10) Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C, Papaiakovou G, and Patikas D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res* 19(2): 369-375, 2005.
- (11) Kraemer WJ and Fry AC. Strength testing: development and evaluation of methodology. In: *Physiological assessment of humane fitness*. P. Maud and C. Foster, eds. Champaign, IL: Human Kinetics, 1995. pp. 115-138.
- (12) Lehance C, Binet J, Bury T, and Croisier JL. Muscular strength, functional performances and injury risk in professional and junior elite soccer players. *Scand J Med Sci Sports* 19: 243-251, 2009.
- (13) Loturco I, Ugrinowitsch C, Tricoli V, Pivetti B, and Roschel H. Different loading schemes in power training during the pre-season promote similar performance improvements in Brazilian elite soccer players. *J Strength Cond Res* 18 [Epub ahead of print], 2012.
- (14) Requena, B, González-Badillo, JJ, Saez de Villareal, ES, Erelina, J, García, I, Gapeyeva, H, and Pääsuke, M. Functional performance, maximal strength, and power characteristics in isometric and dynamic actions lower extremities in soccer players. *J Strength Cond Res* 23(5): 1391-1401, 2009.
- (15) Roig M, O'Brien K, Kirk G, et al. The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *Br J Sports Med* 43: 556-568, 2009.
- (16) Seger JY, Arvidsson B, and Thorstensson A. Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur J Appl Physiol* 79: 49-57, 1998.
- (17) Sub-commission on Publications in the Sports Sciences, IOC Medical Commission. Units of Measurement and Terminology. In: *Strength and power in sport, Volume III of the Encyclopaedia of Sports Medicine*, 2nd ed. P. V. Komi, ed. Hoboken: Willey-Blackwell, 2003. pp. xiii-xiv.

- (18) Temfemo A, Carling C, and Ahmaidi S. Relationship between power output, lactate, skin temperature, and muscle activity during brief repeated exercises with increasing intensity. *J Strength Cond Res* 25(4): 915-921, 2011.
- (19) Vandewalle H, Peres G, Heller J, Panel J, and Monod H. Force-velocity relationship and maximal power on a cycle ergometer: Correlation with the height of a vertical jump. *Eur J Appl Physiol* 56: 650-656, 1987.
- (20) Wenzel RR and Perfetto EM. The effect of speed versus non-speed training in power development. *J Strength Cond Res* 6(2): 82-87, 1992.
- (21) Wisloff U, Castagna C, Helgerud J, Jones R, and Hoff J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38: 285-288, 2004.



## **X. Bibliografía**

- Adams, G. M. (2002). *Exercise Physiology Laboratory Manual* (4th ed.). Boston: WCB/McGraw-Hill Companies.
- Andersen, J. L., Klitgaard, H., Bangsbo, J. & Saltin, B. (1994). Myosin heavy chain isoforms in single fibres from M. vastus lateralis of soccer players: Effects of strength and detraining. *Acta Physiologica Scandinavica*, 150, 21-26.
- Bangsbo, J. (1994). The physiology of soccer with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 15 (suppl. 619), 1-156.
- Bangsbo, J. (2003). Physiology of training. In T. Reilly, & A. M. Williams. (eds.), *Science and Soccer* (pp. 47-58). London: Routledge.
- Ben-Sira, D., Ayalon, A. & Tavi, M. (1995). The effect of different types of strength training on concentric strength in women. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 9, 143–148.
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Coleman, D. R. & Horne, S. (2007). Influence of concentric and eccentric resistance training on architectural adaptation in human quadriceps muscles. *Journal of Applied Physiology*, 103, 1565–1575.
- Bosco, C. (2000). *La fuerza muscular: aspectos metodológicos*. Barcelona: INDE Publicaciones.
- Bosco, C., Luhtanen, P. & Komi, P. V. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 50, 273-282.
- Braith, R.W., Graves J.E., Leggett S.H., & Pollack M.L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and sub maximal strength. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 25, 132-138.
- Brinckmann, P., Frobin, W., & Leivseth, G. (2002). *Musculoskeletal Biomechanics*. Stuttgart: Thieme.
- Butterfield, T. A., Leonard, T. R., & Herzog, W. (2005). Differential serial sarcomere number adaptations in knee extensor muscles of rats is contraction type dependent. *Journal of Applied Physiology*, 99, 1352–1358.
- Cadore, E. L., González-Izal, M., Pallarés, J. G., Rodríguez-Falces, J., Häkkinen, K., Kraemer, W. J., et al. (2014). Muscle conduction velocity, strength, neural activity, and morphological changes after eccentric and concentric training. *Scandinavian Journal of Medicine & Science Sports [Epub Ahead]*
- Carrasco, D. I., Delp, M. D., & Ray, C. A. (1999). Effect of concentric and eccentric muscle actions on muscle sympathetic nerve activity. *Journal of Applied Physiology*, 86, 558–563.

- Carter, S. L., C. D. Rennie, S. J. Hamilton, & Tarnopolsky, F. M. (2001). Changes in skeletal muscle in males and females following endurance training. *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*, 79, 386-392.
- Chelly, M. S., Fathloun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z., & Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23 (8), 2241-2249.
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24 (10), 2670-2676
- Clarke, E.K., & Irving R.N. (1960). Objective determination of resistance load for ten repetition maximum for knee flexion exercise. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 31, 131-135.
- Colliander, E. B., & Tesch, P. A. (1990). Effects of eccentric and concentric muscle actions in resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 140 (1), 131-139.
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P., & van Praagh, E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *Journal of Sports Medicine & Physical Fitness*, 41, 342-348.
- Duchateau, J., & Hainaut, K. (2003). Mechanisms of Muscle and Motor Unit Adaptation to Explosive Power Training. In P. V. Komi (ed.) *Strength and Power in Sport. Volume III of the Encyclopaedia of Sports Medicine (2<sup>nd</sup> ed.)* (pp. 315-30). Oxford: Blackwell Science.
- Earles, D. R., Judge, J. O., & Gunnarsson, O. T. (2000). Velocity training induces power-specific adaptations in highly functioning older adults. *Archives of Physical Medicine & Rehabilitation*, 82, 872-878.
- Elliott, B. C., Wilson, G. J., & Kerr, G. K. (1989). A biomechanical analysis of the sticking region in the bench press. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 21, 450-462.
- Enoka, R. (1996). Eccentric contractions require unique activation strategies by the nervous system. *Journal of Biomechanics*, 30, 447-455.
- Fang, Y., Seminonow, V., Sahgal, V., Xiong, F., & Yue, G. H. (2001). Greater movement related cortical potential during human eccentric versus concentric muscle contractions. *Journal of Neurophysiology*, 86, 1764-1772.

- Faudea, O., Rotha, R., Di Giovinea, D., Zahnera, L., & Donatha, L. (2014). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: a randomised-controlled trial. *Journal of Sports Sciences*, 31 (13), 1460-1467. doi:10.1080/02640414.2013.796065.
- Fleck, S. J. & Kraemer, W. J. (2014). *Designing resistance training programs* (4<sup>th</sup> ed.). Champaign IL: Human Kinetics.
- Fox, E. L., & Mathews, D. K. (1974). *The Interval Training: Conditioning for Sports and General Fitness*. Philadelphia, PA: W.B. Saunders.
- Giebing, J. (2005). The concept of the hypothetical maximum (h 1-RM) as a safe alternative to maximum single repetitions. En J. Giebing, M. Fröhlich, & P. Preuss (coords.), *Current Results of Strength Training Research* (pp. 24-33). Göttingen, Cuvillier Verlag.
- Giebing, J., Preuss, P., Greiwing, A., Goebel, S., Müller, A., Schischek, A., et al (2005). Fundamental definitions of decisive training parameters of single-set training and multiple-set training for muscle hypertrophy. En J. Giebing, M. Fröhlich, & P. Preuss (coords.), *Current Results of Strength Training Research* (pp. 9-22). Göttingen: Cuvillier Verlag.
- Gleeson, N., Eston, R., Marginson, V., & McHugh, M. (2003). Effects of prior concentric training on eccentric exercise induced muscle damage. *The British Journal of Sports Medicine*, 37, 119-125.
- González-Badillo, J. J., Gorostiaga, E. M., Arellano, R., & Izquierdo, M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19 (3), 689-697.
- González-Badillo, J. J., Izquierdo, M., & Gorostiaga, E. M. (2006). Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20 (1), 73-81.
- Hakkinen, K., W. J. Kraemer, R. U. Newton, & Alen, M. (2001). Changes in electromyographic activity, muscle fibre and force production characteristics during heavy resistance/power strength training in middle-aged and older men and women. *Acta Physiologica Scandinavica*, 171, 51-62.
- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. N., & Kraemer, W. J. (1991). Estimation of human power output from vertical jump. *Journal of Applied Sports and Science Research*, 5, 116-120.

- Harman, E. A., Rosenstein, M. T., Frykman, P. N., Rosenstein, R. N., & Kraemer, W. J. (1988). *Estimation for human power output from maximal vertical jump and body mass*. Natick, MA: Army Research Institute of Environmental Medicine.
- Hather, B. M., Tesch, P. A., Buchanan, P., & Dudley, G. A. (1991). Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiologica Scandinavica*, 143 (2), 177-185)
- Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O. J., & Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *International Journal of Sports Medicine*, 32 (9), 677-682. doi: 10.1055/s-0031-1275742.
- Hermassi, S., Chelly, M. S., Tabka, Z., Shephard, R. J. & Chamari, K. (2011). Effects of 8-week in-season upper and lower limb heavy resistance training on the peak power, throwing velocity, and sprint performance of elite male handball players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25 (9), 2424-2433.
- Hoeger, W., Barette S. L., Hale D. F., & Hopkins D. R. (1987). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. *Journal of Applied Sport Science Research*, 1, 11-13.
- Hoeger, W., Hopkins D. R., Barette S. L., & Hale D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum. A comparison between untrained and trained males and females. *Journal of Applied Sport Science Research*, 4, 47-54.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23 (6), 573-582.
- Jovanovic, M., Sporis, G., Omrcen, D., & Fiorentini, F. (2011). Effects of speed, agility, quickness training method on power performance in elite soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25 (5), 1285-1292.
- Knutten, H. G., & Komi, P. V. (2003). Basic Considerations for Exercise. En P. V. Komi (ed.), *Strength and Power in Sport. Volume III of the Encyclopaedia of Sports Medicine* (2<sup>nd</sup> ed.) (pp. 3-10). Oxford: Blackwell Science.
- Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakevou, G. & Patikas, D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19 (2), 369-375.
- Kraemer, W. J., & Fry, A. C. (1995). Strength testing: development and evaluation of methodology. En P. Maud, & C. Foster (ed.), *Physiological assessment of humane fitness* (pp. 115-138). Champaign, IL: Human Kinetics.

- Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (2004). *Entrenamiento de la fuerza*. L'Hospitalet: Editorial Hispano Europea.
- Kraemer, W. J., Fleck, S. J. & Evans, W. J. (1996). Strength and power training: physiological mechanisms of adaptation. *Exercise and Sports Science Reviews* 24, 363-397.
- Kraemer, W.J., Adams K., Cafarelli G.A., Feigenbum M.S., Fleck S.J., Franklin B., et al. (2002). American college of sports medicine position stand. Progression models in resistance training for healthy adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 34, 364-380.
- Kraemer, W.J., Dziados J.E., Marchitelli L.J., Gordon S.E., Harman E.A., Mello R., et al. (1993). Effects of different heavy-resistance protocols on plasma beta-endorphin concentrations. *Journal of Applied Physiology*, 74, 450-459.
- Kraemer, W.J., Fleck S.J., Maresh C.M., Ratamess N.A., Gordon S.E., Goetz K.L., et al. (1999). Acute hormonal response to a single bout of heavy resistance exercise in trained power lifters and untrained men. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 24, 524-537.
- Landers, J. (1985). Maximum based on repetitions. *National of Strength and Conditioning Association*, 6, 60-61.
- Li, Z. X. (2011). Research on Plyometric Training: Interpretation and Application. En M. Zhou (ed.), *Advances in Education and Management* (pp. 370-374). London: Springer.
- Loturco, I., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., & Roschel, H. (2013). Different loading schemes in power training during the preseason promote similar performance improvements in Brazilian elite soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 27 (7), 1791-1797.
- Lynn, R. & Morgan, D. L. (1994). Decline running produces more sarcomeres in rat vastus intermedius muscle fibers than does incline running. *Journal of Applied Physiology*, 79, 1439–1444.
- Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., & Theisen, D. (2006). Stretch-shortening cycle exercises: an effective training paradigm to enhance power output of human single muscle fibers. *Journal of Applied Physiology*, 100, 771–779.
- Malisoux, L., Francaux, M., Nielens, H., Renard, P., Lebacqz, J., y Theisen, D. (2006). Calcium sensitivity of human single muscle fibers following plyometric training. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 38, 1901–1908.
- Marques, M., Pereira, A., Reis, I., & van den Tillaar, R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed

- Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *Journal of Human Kinetics*, 39, 157-166.
- Mayhew, T., Rothstein, J., Finucane, S. & Lamb, R. L. (1995). Muscular adaptation to concentric and eccentric exercise at equal power levels. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 27, 868–873.
- McGawley, K., & Andersson, P. I. (2013). The Order of Concurrent Training Does not Affect Soccer-Related Performance Adaptations. *International Journal of Sports Medicine*, 34 (11), 983-990
- Meylan, C. & Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23 (9), 2605-2613.
- Moore, E.W., Hickey, M.S., & Reiser, R.F. (2005). Comparison of two twelve week off-season combined training programs on entry level collegiate soccer players' performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 19, 791–798.
- Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica* (2ª ed.). Barcelona: Editorial Reverté.
- Newton, R. U., Kraemer, W. J., & Häkkinen, K. (1999). Effects of ballistic training on preseason preparation of elite volleyball players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 31 (2), 323-330.
- Newton, R., Kraemer, W., Hakkinen, K., Humphries, B., & Murphy, A. (1996). Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *Journal of Applied Biomechanics*, 12, 31-43.
- Nicol, C., Avela, J., & Komi, P. V. (2006). The stretch-shortening cycle: a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Medicine*, 36 (11), 977-999.
- Norris, C. N. (2004). *La guía completa de los estiramientos*. Barcelona, Paidotribo.
- O'shea, J.P. (1976). *Scientific Principle and Methods of Strength Fitness*. Reading, MA: Addison-Wesley Publishing co.
- Pavone, E., & Moffat, M. (1985). Isometric torque of the quadriceps femoris after concentric, eccentric and isometric training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 66 (3), 168-170.
- Pazin, N., Bozic, P., Bobana, B., Nedeljkovic, A. & Jaric, S. (2011). Optimum loading for maximizing muscle power output: the effect of training history. *European Journal of Applied Physiology*, 111, 2123–2130.
- Peake, J. M., Suzuki, K., Hordern, M., Wilson, G., Nosaka, K., & Coombes, J. S. (2005). Plasma cytokine changes in relation to exercise intensity and muscle damage. *European Journal of Applied Physiology*, 95, 514-521.

- Peterson, M. D., Rhea, M. R., & Alvar, B. A. (2004). Maximizing strength development in athletes: a meta-analysis to determine the dose-response relationship. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 18 (2), 377-382.
- Pick, J., & Becque M.D. (2000). The relationship between training status and intensity on muscle activation and relative sub maximal lifting capacity during the back squat. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 14, 175-181.
- Ploutz-Sneider, L. L., Tesch, P. A., & Dudley, G. A. (1998). Increased vulnerability to eccentric exercise-induced dysfunction and muscle injury after concentric training. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 79 (1), 58-61.
- Plowman, S. A., & Smith, D. L. (2013). *Exercise Physiology for Health Fitness and Performance* (4<sup>th</sup> ed.). Philadelphia: Lippincott Williams and Wilkins, WoltersKluwer Health.
- Pollock, M.L., Wilmore J.H., & Fox S.M. (1984). *Exercise in health and disease*. Philadelphia, PA: W.B. Saunders co.
- Price, R. (2003). *The Ultimate Guide to Weight Training for Sports*. Cleveland: Price World Enterprises.
- Price, R. (2005). *The Ultimate Guide to Weight Training for Soccer* (2<sup>a</sup> ed.). Chicago: Price World Publishing.
- Ramírez-Campillo, R., Meylan, C., Alvarez-Lepín, C., Henriquez-Olguín, C., Martínez, C., Andrade, D., et al. (2013). The Effects of Interday Rest on Adaptation to 6-Weeks of Plyometric Training in Young Soccer Players. *Journal of Strength & Conditioning Research* [Epub ahead of print].
- Reilly, T. & Thomas, V. (1976). A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *Journal of Human Movement Studies*, 2, 87-97.
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predisposition for elite soccer. *Journal of Sports Sciences*, 18, 669-683.
- Requena, B., González-Badillo, J. J., de Villarreal, E. S., Erelina, J., García, I., Gapeyeya, H., et al (2009). Functional performance, maximal strength, and power characteristics in isometric and dynamic actions of lower extremities in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 23 (5), 1391-1401.
- Rhea, M. R., Alvar, B. A., Burkett, L. N., & Ball, S. D. (2003). A meta-analysis to determine the dose response for strength development. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35 (3), 456-464.

- Rimmer, E., & Sleivert, G. (2000). Effects of a plyometric intervention program on sprint performance. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 14, 295–301. doi:10.1519/1533-4287(2000)014<0295:EOAPIP>2.0.CO;2.
- Robergs, R. A., & Roberts, S. O. (1997). *Exercise Physiology: Exercise, Performance, and Clinical Applications*. Boston: WCB McGraw-Hill.
- Roig, M., O'Brien, K., Kirk, G., Murray, R., McKinnon, P., Shadgan, B., et al (2009). The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *The British Journal of Sports Medicine*, 43, 556-568.
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sundé, A., & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 22 (3), 773-780. Doi: 10.1519/JSC.0b013e31816a5e86.
- Rowland, T. W. (2005). *Children's exercise physiology (2<sup>a</sup> ed.)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Saltarelli, W. (2009). Children. En J. K. Ehrman, P. M. Gordon, P. S. Visich, & S. J. Kettleyan (eds.), *Clinical Exercise Physiology (2<sup>nd</sup> ed.)* (pp. 111-134). Champaign, IL, Human Kinetics.
- Sander, A., Keiner, M., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2013). Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *European Journal of Sport Science*, 13 (5), 445-451. doi: 10.1080/17461391.2012.742572.
- Sandler, D. (2005). *Sports Power*. Champaign IL, Human Kinetics.
- Sargent, D. A. (1921). The physical test of a man. *American Physical Education Review*, 26 (4), 188-194.
- Saunders, P. U., Telford, R. D., Pyne, D. B., Peltola, E. M., Cunningham, R. B., Gore, C. J., et al. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20, 947–954. doi:10.1519/R-18235.1
- Sayers, S. P., Harackiewicz, D. V., Harman, E. A., Frykman, P. N., & Rosenstein, M. T. (1999). Crossvalidation of three jump power equations. *Medicine and Science in Sports Exercise*, 31, 572-577.
- Seger, J. Y., & Thorstensson, A. (2005). Effects of eccentric versus concentric training on thigh muscle strength and EMG. *International Journal of Sports Medicine*, 26, 45-52.

- Seger, J. Y., Arvidsson, B. & Thorstensson, A. (1998). Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 79, 49-57.
- Shimano, T., Kraemer W.J., Spiering B.A., Volak J.F., Hatfield D.L., Silvestre R., et al. (2006). Relationship between the number of repetitions and selected percentages of one repetition maximum in free weight exercises in untrained and trained man. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 20, 819-823.
- Stone, W. J., & Coulter S. P. (1994). Strength/endurance effects from three resistance training protocols with women. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 8, 231-234.
- Tesch, P. (1984). Anaerobic Testing: Research Basis. *NSCA National Strength and Conditioning Association Journal*, 6 (5), 44-44.
- Tomkinson, G. R., & Olds, T. S. (2008). Field tests of fitness. En N. Armstrong, & W. van Mechelen (ed.), *Paediatric Exercise Science and Medicine (2nd ed.)* (pp. 109-128). Oxford: Oxford University Press.
- Váczai, M., Tollár, J., Meszler, B., Juhász, I., & Karsai, I. (2013). Short-term high intensity plyometric training program improves strength, power and agility in male soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 36, 17-26. doi:10.2478/hukin-2013-0002.
- Warren, B.J., Stone M.H., Kearney J.T., Fleck S.J., Johnson R.L., Wilson G.D., & Kraemer W.J. (1992). Effects of different heavy-resistance protocols on plasma beta-endorphin concentrations. *International Journal of Sports Medicine*, 13, 372-376.
- Wilson, G. J., Murphy, A. J. & Pryor, J. F. (1994). Musculotendinous stiffness: its relationship to eccentric, isometric, and concentric performance. *Journal of Applied Physiology*, 76, 2714–2719.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Humphries, B. J., & Murphy, A. J. (1993). *Maximizing the Performance Gains from Resistance Training: The Optimal Training Modality*. Belconnen: Australian Sports Commission.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *The British Journal of Sports Medicine*, 38, 285-288.
- Witmer, C. A., Davis, S. E. & Moir, G. L. (2010). The acute effects of back squats on vertical jump performance in men and women. *Journal of Sports Science & Medicine*, 9, 206-213.
- Wong, P. L., Chaouachi, A., Chamari, K. Dellal, A., & Wisloff, U. (2010). Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in

professional soccer players. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 24 (3), 653-660.

Yarasheski, K.E., Zachweija J.J., Angelopoulos T.J., & Bier D.M. (1993). Short-term growth hormone treatment does not increase muscle protein synthesis in experienced weight lifters. *Journal of Applied Physiology*, 74, 3073-3076.