



# **Universidad Pablo de Olavide**

## **Departamento de Deporte e Informática**

**“La fuerza, la aceleración y la resistencia como  
indicadores de la condición física en jugadores de fútbol  
de 17-21 años”**

### **TESIS DOCTORAL**

**Autor: Manuel López Segovia**

**Director: Dr. D Juan José González Badillo**

**Sevilla 2015**

***A Elena***

*No estés lejos de mí un solo día, porque cómo,  
porque, no sé decírtelo, es largo el día,  
y te estaré esperando como en las estaciones  
cuando en alguna parte se durmieron los trenes.*

*No te vayas por una hora porque entonces  
en esa hora se juntan las gotas del desvelo  
y tal vez todo el humo que anda buscando casa  
venga a matar aún mi corazón perdido.*

*Ay que no se quebrante tu silueta en la arena,  
ay que no vuelen tus párpados en la ausencia:*

*no te vayas por un minuto, bienamada,  
porque en ese minuto te habrás ido tan lejos  
que yo cruzaré toda la tierra preguntando  
si volverás o si me dejarás muriendo*

*Pablo Neruda*

# Agradecimientos

Este ha sido un camino largo. Quizás demasiado, pero en modo alguno infructuoso. A lo largo de todos estos años han sido muchas las personas que de una u otra manera han contribuido a la realización de este trabajo. La configuración del mismo no hubiera sido imposible sin la existencia de un club de fútbol como el Murcia Deportivo. Club atípico por su preocupación por dotar a los miembros de su cuerpo técnico de todo lo necesario para la realización de su labor en las mejores condiciones posibles. En este sentido creo necesario un especial reconocimiento hacia José Miguel Monje y María Isabel Valcárcel, quienes tras recibir una propuesta en forma de proyecto de investigación permitieron la construcción de los cimientos sobre los que se ha terminado asentando nueve años después esta Tesis Doctoral. Cimientos que no hubieran sido posibles sin la estrecha colaboración de Alberto Castillo, probablemente uno de los entrenadores de fútbol con más futuro que he conocido, su hermano Pablo Castillo y nuestro fisioterapeuta Pablo Fernández. De aquellos años me quedan muchos buenos recuerdos y la sensación de que marcaron definitivamente mi camino profesional ligado al fútbol y al mundo de la investigación aplicada a este deporte.

En estos inicios también tuvieron una incidencia importante las conversaciones y mediciones efectuadas con Carlos Pérez Caballero en la Universidad de Murcia. Es difícil encontrar profesionales capaces de mostrar su forma de trabajar por el único beneficio del intercambio de ideas y opiniones que esa información compartida pudiera generar y Carlos es uno de ellos.

Una vez que quedó claro el camino, por él han transitado aportando su conocimiento en diferentes áreas Daniel Marinho, Alexandre Dellal, Mario Marques, Del P Wong, Pedro Jiménez Reyes, Karim Chamari y Rollan van de Tillaar. Ha sido un placer poder aprender de ellos y compartir experiencias.

De entre los profesionales que he podido conocer en estos años quisiera mostrar un agradecimiento muy especial hacia Fernando Pareja Blanco. Por su ayuda, por su nivel como científico, pero sobre todo por ser capaz de aunar conocimiento e

integridad a raudales. Francamente ha sido lo mejor que un congreso internacional me ha aportado en todos estos años.

Esta Tesis Doctoral no hubiera sido posible sin la fundamental colaboración de Juan José González Badillo a lo largo de todo el proceso. Desde sus clases en el Master en Alto Rendimiento Deportivo del COE, hasta las últimas correcciones e indicaciones necesarias en cada uno de los artículos publicados que componen este trabajo. Han sido muchos viajes primero a Madrid y luego a Sevilla, pero desde luego ha merecido la pena y espero que esta colaboración no se vea interrumpida por la finalización de este trabajo.

También quiero destacar la ayuda de José Manuel Palao Andrés. Cuando no había nadie, estuvo él. Si los inicios siempre son difíciles, en este ámbito cuando la dedicación no es exclusiva más y sin su ayuda difícilmente estaría escribiendo estas palabras. Aun desde la distancia. Gracias.

Y por último, lo más importante de toda mi vida. Mi familia. A mi padre por enderezar el árbol... lo justo. A mi madre por su amor infinito. A ambos por sacrificarse por mi formación y ofrecerme un futuro mejor, por hacerme responsable de mis actos, por enseñarme que la vida no es una cuestión de suerte y que el esfuerzo tiene recompensa. Por haberme dado principios. A mi hermana por cuidarme, por no saber pegar fuerte y por acompañarme y apoyarme siempre que ha sido necesario. A Alejandro por su ayuda cada vez que ha sido necesaria. A Elena, a Elena, a Elena, a Elena, a Elena... Por estar. Siempre. Por ser como eres. Porque esto sin ti ni tiene sentido ni hubiera sido posible. Por entender que después de la tesis vendrán otras tesis. Por hacerme feliz.

A mis niñas, Elena y Laura, por las veces que no he jugado con vosotras. Los momentos que me he perdido no los podré recuperar, pero espero estar siempre en los que quedan por venir. Si alguna vez leéis esta página recordad que el gruñón en el que se ha convertido vuestro padre os quiere y os querrá de manera incondicional el resto de vuestras vidas.

# Índice de contenidos

<b>Relación de abreviaturas</b> _____	1
<b>Listado de Publicaciones</b> _____	5
<b>Índice de Tablas</b> _____	6
<b>Índice de Figuras</b> _____	8
<b>Resumen</b> _____	9
<b>Abstract</b> _____	11
<b>1. Introducción</b> _____	13
<b>2. Origen de la problemática</b> _____	17
<b>3. Estado actual de conocimiento</b> _____	19
<b>3.1 Características del esfuerzo en competición efectuado por el jugador de fútbol</b> _____	19
3.1.1 <u>Variables mecánicas determinantes del esfuerzo en competición.</u>	
3.1.2 <u>Variables fisiológicas indicadoras del esfuerzo en competición.</u>	
<b>3.2 El rendimiento condicional del futbolista y su relación con el esfuerzo en competición</b> _____	23
3.2.1 <u>La importancia de la resistencia en el jugador de fútbol.</u>	
3.2.2 <u>La importancia de la fuerza en el jugador de fútbol.</u>	
3.2.3 <u>La importancia de la capacidad de mantener el rendimiento en esprints repetidos en el jugador de fútbol.</u>	
<b>3.3 El control de la carga en el proceso de entrenamiento en campo</b> __	29

<b>4. Estudio 1</b> _____	32
<b>Effect of forth months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams.</b>	
<b>Efectos de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19.</b>	
<b>4.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación</b> _____	33
<b>4.2 Metodología</b> _____	34
4.2.1 Tipo de investigación.	
4.2.2 Muestra.	
4.2.3 Procedimientos.	
4.2.4 Análisis estadístico.	
<b>4.3 Resultados</b> _____	40
4.3.1 <u>Resultados sobre la capacidad de salto: salto con contramovimiento (CMJ) y salto con contramovimiento con carga (CMJ<sub>20</sub>).</u>	
4.3.2 <u>Resultados del test progresivo con cargas externas en sentadilla completa.</u>	
4.3.3 <u>Capacidad de aceleración.</u>	
4.3.4 <u>Velocidad aeróbica máxima.</u>	
4.3.5 <u>Posición en la tabla clasificatoria.</u>	
<b>4.4 Discusión</b> _____	43
<b>4.5 Conclusiones</b> _____	50
<b>4.6 Aplicaciones prácticas</b> _____	50

## 5. Estudio 2 \_\_\_\_\_ 51

**Changes in strength and aerobic performance by concurrent training in under-19 soccer players.**

**Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19.**

### 5.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación \_\_\_\_\_ 52

### 5.2 Metodología \_\_\_\_\_ 55

5.2.1 Tipo de investigación.

5.2.2 Muestra.

5.2.3 Procedimientos.

5.2.4 Análisis estadístico.

### 5.3 Resultados \_\_\_\_\_ 57

### 5.4 Discusión \_\_\_\_\_ 60

### 5.5 Conclusiones \_\_\_\_\_ 65

### 5.6 Aplicaciones prácticas \_\_\_\_\_ 65

## 6. Estudio 3 \_\_\_\_\_ 66

**Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players.**

**Relación entre la capacidad de salto y la potencia producida en sentadilla completa y el rendimiento en esprint en jugadores de fútbol sub-21.**

### 6.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación \_\_\_\_\_ 67

### 6.2 Metodología \_\_\_\_\_ 68

6.2.1 Tipo de investigación.

6.2.2 Muestra.

6.2.3	Procedimientos.	
6.2.4	Análisis estadístico.	
6.3	Resultados _____	71
6.3.1	Relaciones entre capacidad de aceleración y salto.	
6.3.2	Relaciones entre capacidad de aceleración y sentadilla.	
6.4	Discusión _____	72
6.5	Conclusiones _____	75
6.6	Aplicaciones prácticas _____	75
<b>7.</b>	<b>Estudio 4 _____</b>	<b>77</b>

**Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players.**

**Importancia de la potencia muscular para el rendimiento en el esprint y en esprints repetidos en futbolistas.**

7.1	Problemas, objetivos e hipótesis de investigación _____	78
7.2	Metodología _____	79
7.2.1	Tipo de investigación.	
7.2.2	Muestra.	
7.2.3	Procedimientos.	
7.2.4	Análisis estadístico.	
7.3	Resultados _____	81
7.4	Discusión _____	88
7.5	Conclusiones _____	88
7.6	Aplicaciones prácticas _____	89



<b>8. Estudio 5</b> _____	90
<b>Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players.</b>	
<b>Importancia de la potencia muscular para el rendimiento en el esprint y en esprints repetidos en futbolistas.</b>	
8.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación _____	91
8.2 Metodología _____	93
8.2.1 Tipo de investigación.	
8.2.2 Muestra.	
8.2.3 Procedimientos.	
8.2.4 Análisis estadístico.	
8.3 Resultados _____	98
8.4 Discusión _____	100
8.5 Conclusiones _____	105
8.6 Aplicaciones prácticas _____	106
<b>9. Conclusiones generales</b> _____	107
<b>10. Referencias Bibliográficas</b> _____	108
<b>ANEXO I. Estudio 1. Publicación 1</b> _____	126
Effect of 4 months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. <i>Journal of Strength and Conditioning Research</i> , 24(10), 2705-2714.	
<b>ANEXO II. Estudio 2. Publicación 2</b> _____	137
Changes in strength and aerobic performance by concurrent training in under-19 soccer players. <i>International SportMed Journal</i> , 15(2), 123-135.	

<b>ANEXO III. Estudio 3. Publicación 3</b> _____	151
Relationship between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players. <i>Journal of Human Kinetics</i> , 30, 135-144.	
<b>ANEXO IV. Estudio 4. Publicación 4</b> _____	162
Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players. <i>Journal of Human Kinetics</i> , 40, 201-211.	
<b>ANEXO V. Estudio 5. Publicación 5</b> _____	174
Determinant factors of repeat sprint sequences in young soccer players. <i>International Journal of Sport Medicine</i> , 40(2), 130-136.	
<b>ANEXO VI. Pósters VI<sup>th</sup> European Sports Medicine Congress, Turquía 2009</b> _	182
Relationship between weighted countermovement jump and sprint performance in under-21 soccer players.	
The use of full squat power test as predictor of sprint running ability in soccer players.	
<b>ANEXO VII. Pósters 15<sup>th</sup> Congress European College of Sport Science, Antalya, Turquía 2010</b> _____	185
Effect of endurance training on speed improvement in U-19 football players.	
Relationship between strength training with full squat using sub-max loads on speed improvement through in U-19 football players.	
<b>ANEXO VIII. Pósters 16<sup>th</sup> Congress European College of Sport Science, Liverpool, Inglaterra 2011</b> _____	188
Relative fatigue in repeated sprint ability is related to jump and full squat maximal power in soccer players.	
Peak power in full squat related to decreased kick after fatigue induced by repeated sprints in soccer players.	

**ANEXO IX. Póster 3<sup>th</sup> World Conference on Science and Soccer, Gante, Bélgica  
2012** \_\_\_\_\_ 191

Cardiac response during official matches in young elite soccer players. The influence of specific position.

**ANEXO X. Póster II International Congress on Team Sports, Sevilla, España,  
2013** \_\_\_\_\_ 193

Importancia de variables condicionales y metabólicas en la capacidad de mantener el rendimiento en acciones máximas repetidas en futbolistas sub-19.

**ANEXO XI. Pósters IV NSCA International Conference, Murcia, España, 2014**\_\_ 195

Influence of strength on loss of performance in repeated sprint sequences in U-19 soccer players.

Acute physiological response to repeated 20 + 20 m sprint, kicking and jump sequences in U-19 soccer players.

# Relación de abreviaturas

ANOVA análisis de la varianza.

CMJ salto con contramovimiento.

CMJ<sub>c</sub> salto con contramovimiento con carga.

CMJ<sub>MAX</sub> mejor salto.

CMJ<sub>M</sub> promedio de los saltos efectuados.

CMJ<sub>P</sub> pérdida de rendimiento (%) en salto.

CMJ<sub>20</sub> salto con contramovimiento con 20 kg de carga.

CMJ<sub>30</sub> salto con contramovimiento con 30 kg de carga.

CMJ<sub>40</sub> salto con contramovimiento con 40 kg de carga.

CMJ<sub>20-30-40</sub> suma de la potencia generada en salto con 20 kg, 30 kg y 40 kg.

CCI coeficiente de correlación intraclase.

CV coeficiente de variación test-retest.

DC desplazamientos con carga.

DE desviación estándar.

E<sub>1</sub> evaluación inicial.

E<sub>2</sub> evaluación final (Estudio 1); evaluación intermedia (Estudio 2).

E<sub>3</sub> evaluación final (Estudio 2).

ES<sub>M</sub> promedio de esprints.

ES<sub>MAX</sub> mejor esprint de 40 m con cambio de dirección (20 + 20 m).

ES<sub>M1-3</sub> media de los tres primeros esprints de 40 m con cambio de dirección (20 + 20 m).

ES<sub>M4-6</sub> media del cuarto, quinto y sexto esprint de 40 m con cambio de dirección (20 + 20 m).

ES<sub>M7-9</sub> media del séptimo, octavo y noveno esprint de 40 m con cambio de dirección (20 + 20 m).

FCM frecuencia cardiaca máxima.

GOLPEO<sub>M</sub> promedio de de los golpes a portería.

GOLPEO<sub>MAX</sub> mayor velocidad de golpeo a portería.

GOLPEO<sub>P</sub> pérdida de rendimiento (%) en el golpeo a portería.

GPS sistema de posicionamiento global.

IC indicador de carga.

IRE índice de resistencia al esprint.

La<sub>PRE</sub> concentración de lactato en reposo.

La<sub>POST</sub> concentración de lactato tras efectuar el último esprint.

MS media sentadilla.

P<sub>ES</sub> pérdida de rendimiento (%) en el esprint de 40 m (20 + 20 m).

P<sub>ES1-3</sub> pérdida de rendimiento (%) en los tres primeros sprints de 40 m (20 + 20 m).

P<sub>ES4-6</sub> pérdida de rendimiento (%) entre el cuarto y el sexto esprint de 40 m (20 + 20 m).

P<sub>ES7-9</sub> pérdida de rendimiento (%) entre el séptimo y el noveno esprint de 40 m (20 + 20 m).

PP potencia pico.

PPCMJ<sub>20</sub> potencia pico en salto con 20 kg.

PPCMJ<sub>30</sub> potencia pico en salto con 30 kg.

PPCMJ<sub>40</sub> potencia pico en salto con 40 kg.

PPCMJ<sub>20-30-40</sub>·kg<sup>-1</sup> suma de la potencia pico obtenida en salto con 20 kg, 30 kg y 40 kg por kg de peso del futbolista.

PM potencia media.

RM repetición máxima.

RSA capacidad de repetir esprints.

R repeticiones

S series

SC sentadilla completa.

SC<sub>C</sub> sentadilla completa con carga

SCMax<sub>PM</sub> máxima potencia media en sentadilla completa.

SCMax<sub>PM</sub>·kg<sup>-1</sup> máxima potencia media en sentadilla completa por kg de peso del futbolista.

SC<sub>20kg</sub> sentadilla completa con 20 kg.

SC<sub>30kg</sub> sentadilla completa con 30 kg.

SC<sub>40kg</sub> sentadilla completa con 40 kg.

SC<sub>50kg</sub> sentadilla completa con 50 kg.

SC<sub>60kg</sub> sentadilla completa con 60 kg.

SC<sub>70kg</sub> sentadilla completa con 70 kg.

SC<sub>80kg</sub> sentadilla completa con 80 kg.

Sub 19 jugadores con menos de 19 años en la temporada en la que se efectuó la intervención.

Sub 21 jugadores con menos de 21 años en la temporada en la que se efectuó la intervención.

TE Tamaño del efecto.

TT Tiempo total de trabajo.

T<sub>10</sub> tiempo en segundos empleado en recorrer 10 m.

$T_{20}$  tiempo en segundos empleado en recorrer 20 m.

$T_{30}$  tiempo en segundos empleado en recorrer 30 m.

$T_{40}$  tiempo en segundos empleado en recorrer 40 m.

$T_{10-20}$  tiempo en segundos empleado en recorrer 10 m tras 10 m de aceleración.

$T_{10-30}$  tiempo en segundos empleado en recorrer 20 m tras 10 m de aceleración.

$T_{20-30}$  tiempo en segundos empleado en recorrer 10 m tras 20 m de aceleración.

VAM velocidad aeróbica máxima.

$V_{1-carga}$  carga movilizada a la velocidad de  $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla.

$VO_{2max}$  consumo máximo de oxígeno.

XRM número máximo de repeticiones (x) con una carga determinada.

YYIRT-1 test de resistencia intermitente YO-YO nivel 1.

1RM una repetición máxima.

1-3RM una-tres repeticiones máximas.

3-6RM tres-seis repeticiones máximas.

%C porcentaje de la carga.

# Listado de Publicaciones

**Artículo 1.** López-Segovia, M., Palao Andrés, J.M., González-BadilloJ.J. (2010). Effect of 4 months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2705-2714.

**Artículo 2.** López-Segovia, M., Marques, M.C., van den Tillar, R., González-BadilloJ.J. (2011). Relationship between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 30, 135-144.

**Artículo 3.** López-Segovia, M., Dellal, A., Chamari, K., González-BadilloJ.J. (2011). Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 40, 201-211.

**Artículo 4.** López-Segovia, M., Palao Andrés, J.M., Wong, D.P., González-BadilloJ.J. (2014). Changes in strength and aerobic performance by concurrent training in under-19 soccer players. *International SportMed Journal*, 15(2), 123-135.

**Artículo 5.** López-Segovia, M., Pareja-Blanco F., Jiménez-Reyes, P., González-BadilloJ.J. (2015). Determinant factors of repeat sprint sequences in young soccer players. *International Journal of Sport Medicine*, 40(2), 130-136.



# Índice de Tablas

**Tabla 1.1** Entrenamiento complementario del equipo A.

**Tabla 1.2** Semana tipo de entrenamiento del equipo A.

**Tabla 1.3** Semana tipo de entrenamiento del equipo B.

**Tabla 1.4** Número y duración de sesiones de entrenamiento para el equipo A y para el equipo B.

**Tabla 1.5** Resultados de las evaluaciones del rendimiento físico efectuadas en los dos equipos durante el periodo de estudio (media  $\pm$  DE).

**Tabla 2.1** Resultados de las evaluaciones del rendimiento físico efectuadas en la evaluación inicial ( $E_1$ ), intermedia ( $E_2$ ) y final ( $E_3$ ) (media  $\pm$  DE).

**Tabla 3.1** Resultados (media  $\pm$  DE) obtenidos en salto con contramovimiento y parciales de velocidad.

**Tabla 3.2** Correlaciones entre parciales de aceleración medidos y altura de salto sin carga (CMJ) y pico de potencia en salto con carga.

**Tabla 3.3** Correlaciones entre potencia media y pico en sentadilla y los parciales de aceleración medidos.

**Tabla 4.1** Resultados (media  $\pm$  DE) obtenidos en las diferentes variables medidas.

**Tabla 4.2** Comparación entre los jugadores más y menos potentes ( $SC_{MaxPM}$  y  $CMJ_{20-30-40}$ ) por kg de peso (media  $\pm$  DE).

**Tabla 4.3** Correlaciones entre la potencia generada en  $CMJ_c$  y los tiempos en diferentes sprints e IRE.

**Tabla 4.4** Correlaciones entre la potencia generada en  $SC_c$  y los tiempos en diferentes sprints e IRE.

**Tabla 5.1** Valores obtenidos en las variables evaluadas (media  $\pm$  DE).

**Tabla 5.2** Matriz de correlaciones parciales en función del peso corporal entre el rendimiento en el test de secuencias de esfuerzos repetidos, salto, golpeo a portería y variables condicionales y metabólicas.

# Índice de Figuras

**Figura 2.1** Distribución semanal de minutos de entrenamiento y competición a diferentes intensidades de la frecuencia cardiaca máxima de los jugadores.

**Figura 2.2** Correlación entre el número de sentadillas realizado y los cambios producidos en  $T_{10}$ ,  $T_{20}$ ,  $T_{30}$  y  $T_{10-20}$ .

**Figura 5.1** Esquema de la secuencia de esfuerzos repetidos.

**Figura 5.2** Correlaciones entre  $ES_M$  y el resto de variables medidas.

**Figura 5.3** Correlaciones entre  $ES_{M1-3}$ ,  $ES_{M4-6}$ ,  $RSA_{M7-9}$  y el resto de variables medidas.

# Resumen

La consecución de la mejora de las prestaciones físicas del futbolista ha sido motivo de investigación continua. Sin embargo, los estudios centrados en los efectos producidos como consecuencia de un periodo de entrenamiento han sido realizados teniendo en cuenta los cambios en la resistencia, la fuerza, o la velocidad, sin analizar de manera más completa los cambios en el rendimiento físico del deportista. Además, en los estudios centrados en la fuerza, la medición y el entrenamiento de esta cualidad han sido efectuados mediante el empleo de repeticiones máximas (RM) movilizadas a bajas velocidades. Sin embargo, existe la posibilidad de programar el entrenamiento y medir su efecto a través del control de la velocidad de la ejecución y aplicando cargas que se puedan movilizar a velocidades medias y altas. Esta metodología puede significar un menor estrés para el jugador y además probablemente permita obtener información relevante sobre la relación entre la fuerza de las piernas y el rendimiento del futbolista en acciones tan relevantes como la capacidad de acelerar, saltar o mantener el rendimiento en una repetición de secuencias de esfuerzos de alta intensidad. Por tanto, la presente Tesis Doctoral tuvo como objetivos:

- 1) Comprobar el efecto del entrenamiento de fuerza con cargas prescritas en función de la velocidad de desplazamiento sobre los cambios en el rendimiento físico del futbolista y la relación entre éstos y la frecuencia cardiaca media de entrenamiento y competición;
- 2) Comprobar la relación entre la potencia generada en salto vertical y sentadilla con cargas ligeras y medias y el rendimiento en aceleración del futbolista y el número de esprints de 40 m realizado hasta perder el 3% de la velocidad de la mejor repetición;
- 3) Comprobar la relación entre la concentración de amonio y lactato, la fuerza y la resistencia del futbolista y la capacidad de mantener el rendimiento en una secuencia de esfuerzos de alta intensidad compuesta por 20 + 20 m con cambio de dirección, golpeo a portería y salto. Para el objetivo 1 se evaluó en diferentes momentos de la temporada la velocidad aeróbica máxima, la aceleración y la velocidad con la que los futbolistas desplazaron diferentes cargas en sentadilla completa. Además durante este periodo se registraron los minutos a diferentes intensidades de la frecuencia cardiaca de los jugadores en entrenamiento y competición. Para el objetivo 2 se

midió la potencia generada en salto con carga y sentadilla completa en un test progresivo con cargas, la capacidad de aceleración del futbolista y su capacidad de efectuar esprints de 40 m hasta perder un 3 % de la mejor repetición. Por último, para el objetivo 3 fueron evaluadas la fuerza y la resistencia del futbolista, los cambios producidos en aceleración (20 + 20 m con cambio de dirección), golpeo a portería y salto al repetirse nueve veces esta secuencia de acciones técnicas y la concentración de amonio y lactato resultante de estos esfuerzos repetidos. La capacidad de aplicación de fuerza de los futbolistas presentó mejoras significativas ( $p \leq 0.05-0.01$ ) tras la aplicación del entrenamiento de fuerza con cargas ligeras y medias en función de la velocidad de desplazamiento. Los cambios en la aceleración presentaron correlación significativa con los cambios en la aplicación de fuerza en sentadilla ( $r = -0.531/-0.642, p \leq 0.05$ ) y el volumen de entrenamiento de fuerza efectuado ( $r = -0.532/-0.564, p \leq 0.05$ ). La potencia generada en salto y sentadilla con cargas ligeras y medias presentó correlación significativa con el rendimiento en aceleración ( $r = -0.54/-0.79, p \leq 0.05-0.01$ ) y la capacidad de mantener el rendimiento ante la repetición de carreras de 40 m ( $r = -0.539/-0.640, p \leq 0.05-0.01$ ). Finalmente, la capacidad del futbolista de mantener el rendimiento en esprints repetidos de 20 + 20 m con cambios de dirección presentó correlación significativa con el rendimiento en fuerza medido por medio de la carga desplazada a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla ( $r = -0.52 [-0.79, -0.25], p \leq 0.05$ ), la concentración de lactato ( $r = 0.67 [0.47, 0.87], p \leq 0.01$ ) y amonio ( $r = 0.53 [0.27, 0.79], p \leq 0.05$ ). Los resultados de los diferentes estudios muestran que la medición y prescripción del entrenamiento de fuerza en función de la velocidad de desplazamiento con cargas ligeras y medias es una alternativa al empleo de cargas máximas para la mejora de la aplicación de fuerza del jugador de fútbol. Además, el rendimiento en sentadilla y salto con estas cargas presentó correlación tanto con el rendimiento en el esprint como con el rendimiento ante una repetición de esprints y secuencias técnicas repetidas. Por tanto, el empleo de cargas movilizadas a velocidades altas y medias empleado en la presente Tesis Doctoral presenta una alternativa muy útil al empleo tradicional de repeticiones máximas efectuadas a bajas velocidades, evitando los riesgos derivados del cálculo directo de 1RM y el empleo de repeticiones hasta el fallo muscular como se produce con el uso de XRM.

# Abstract

The improvement of football players' physical conditioning has been subject of continued research. However, the studies focused on the effects of a training period has been done through the analysis in endurance, strength or velocity without analyzing globally the changes in the physical conditioning of the player. In addition, the studies focused on the strength, the measurement and training of this quality has been performed using repetitions maximum (RM) lifts at low velocity. Nevertheless, there is the possibility of planning the training and measure it's effect through of movement velocity an apply loads lift at medium and high velocity. This methodology may represent a minor stress to the player and also it could allow to obtain relevant information about the relationship between the lower body strength and the performance of the player in actions like the ability to accelerate, jump or to endure repeated sequences of high intensity actions. The purpose of this dissertation was: 1) to assess the effect of the strength training with loads as a function of the speed of movement on the football players' physical performance changes and the association between these and the average heart rate obtained in training and competition; 2) to assess the relationship between the power output obtained in jump and full squat with medium and high loads and the acceleration capacity of the football player and the number of sprints performed until there was a decrease of 3 % in performance for the best 40 m sprint; and 3) to assess the relationship between blood lactate and ammonia measurement, the strength and the endurance of the player and the player's ability to maintain performance in repeated sequences of sprints interspersed with specific soccer skills, such as jumping or kicking. For the purpose 1, the maximal aerobic speed, the acceleration and the velocity in which the players lifted different loads in full squat were evaluated at different times of the season. Also, during this period the player's heart rates were recorded in practices and matches in order to obtain an individual indicator of training load. For the purpose 2, the power output in loaded jump and full squat was measured along with the player's acceleration and the number of sprints performed until there was a decrease of 3 % in performance for the best 40 m sprint. Finally, for the purpose 3, the strength, the endurance and the changes as consequence of the repetition of high intensity

sequences in lactate and ammonia levels, acceleration, kicking and jumping were evaluated. The acceleration capacity of the football players improved significantly ( $p \leq 0.05-0.01$ ) after the period of strength training with light and medium loads prescribed as a function of the speed of movement. Changes in acceleration presented significant correlation with changes in the application of strength in full squat ( $r = -0.531/-0.642$ ,  $p \leq 0.05$ ) and the volume of strength training performed ( $r = -0.532/- 0.564$ ,  $p \leq 0.05$ ). Power output in jump and full squat with light and medium loads correlated significantly with the player's acceleration and capacity of maintain the performance during repeated sprints of 40 m ( $r = -0.54/- 0.79$ ,  $p \leq 0.05-0.01$ ;  $r = -0.539/- 0.640$ ,  $p \leq 0.05-0.01$ ; respectively). Finally, the player's ability to maintain performance in repeated sequences of sprints correlated significantly with the strength represented like the load which players were able to achieve at  $1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$  relative to body mass ( $r = -0.52 [-0.79, -0.25]$ ,  $p \leq 0.05$ ), and lactate ( $r = 0.67 [0.47, 0.87]$ ,  $p \leq 0.01$ ) and ammonia concentrations ( $r = 0.53 [0.27, 0.79]$ ,  $p \leq 0.05$ ). The results of the different studies show that the strength training's measurement and prescription as a function of the speed of movement with light and medium loads is an alternative to the use of heavy loads to the improvement of the player's application of strength. Therefore, the use of loads lift at high and medium speed employed in the present dissertation presents a useful alternative to the traditional employment of repetitions maximum lifted at low speeds. It could avoid the risks related to the measure of 1RM and the use of repetitions to failure as occurs with the use of XRM.

# 1. Introducción

La presente Tesis Doctoral se compone del desarrollo de los estudios que a continuación se detallan:

**Estudio 1** (Publicación 1).

**Effect of forth months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams.**

Efectos de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19.

**Estudio 2** (Publicación 2).

**Changes in strength and aerobic performance by concurrent training in under-19 soccer players.**

Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19.

**Estudio 3** (Publicación 3).

**Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players.**

Relación entre la capacidad de salto y la potencia producida en sentadilla completa y el rendimiento en esprint en jugadores de fútbol sub-21.



**Estudio 4** (Publicación 4).

**Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players.**

Importancia de la potencia muscular para el rendimiento en el esprint y en esprints repetidos en futbolistas.

**Estudio 5** (Publicación 5).

**Determinant factors of repeat sprint sequences in young soccer players.**

Factores determinantes del rendimiento en secuencias de esprints repetidos en jugadores de fútbol sub-19.

El Estudio 1 tuvo como objetivo comprobar el efecto del entrenamiento de fuerza, realizado con cargas y saltos, y de resistencia sobre la fuerza muscular, la capacidad de salto, la aceleración y la velocidad aeróbica máxima en dos equipos de fútbol juveniles de División de Honor española. Uno de los equipos participó como grupo experimental y el otro como grupo control. Como objetivo secundario se analizó la incidencia del rendimiento condicional de los equipos participantes en la tabla clasificatoria. Se efectuó un diseño cuasiexperimental con pretest al inicio del periodo competitivo y posttest 16 semanas después coincidiendo con el final de la primera vuelta de la liga regular. La variable independiente fue el entrenamiento realizado por ambos equipos, mientras que como variables dependientes se analizaron la altura del salto con carga (CM)<sub>C</sub> y sin carga externa (CM)<sub>J</sub>, la velocidad de desplazamiento de la carga externa movilizada en un test progresivo de sentadilla completa, la capacidad de aceleración en 10 m, 20 m y 30 m y la velocidad aeróbica máxima.

Los objetivos del Estudio 2 fueron comprobar: *a)* el efecto de cuatro meses de entrenamiento simultáneo de fuerza y resistencia sobre la capacidad de salto, la aceleración y la velocidad aeróbica máxima; *b)* la relación entre los cambios en las

variables de fuerza, velocidad y resistencia; *c)* la relación entre la frecuencia cardiaca media de entrenamiento y competición durante 18 semanas y el rendimiento en fuerza, aceleración y resistencia. Se realizó un diseño quasiexperimental con evaluación inicial, intermedia y final. La variable independiente fue el entrenamiento realizado por los jugadores de un equipo de fútbol sub-19 estableciéndose como variables dependientes la altura de salto con contramovimiento con carga (CMJ<sub>c</sub>) y sin carga (CMJ), la velocidad de desplazamiento de la carga externa movilizada en un test progresivo de sentadilla completa, la capacidad de aceleración en 10 m, 20 m y 30 m, la velocidad aeróbica máxima y la respuesta cardiaca del jugador al entrenamiento y la competición.

En los estudios 3 y 4 se comprobó la relación entre la potencia generada en salto vertical con cargas y en sentadilla completa y: *a)* el tiempo en 10 m, 20 m y 30 m (Estudio 3); *b)* el número de esprints de 40 m realizado a la máxima velocidad posible, con dos minutos de recuperación entre carreras, hasta perder el 3% de la velocidad de la mejor repetición (Estudio 4). En ambos estudios se efectuó un diseño transversal con dos sesiones de evaluación y participaron jugadores de fútbol que competían en la Tercera División española. Las variables determinantes de la potencia del jugador fueron la altura del salto con contramovimiento (CMJ), la potencia pico obtenida en un test progresivo de salto con cargas y la potencia media y pico obtenidas en un test progresivo de sentadilla completa con cargas. La capacidad de esprintar fue evaluada registrando el tiempo que el jugador tardó en recorrer 30 m y los parciales 0-10 m, 0-20 m, 10-20 m, 10-30 m y 20-30 m. Por último, para el Estudio 4 el número de esprints de 40 m efectuado hasta perder un 3% del mejor esprint se registró como valor representativo de la capacidad de repetir esprints.

En el Estudio 5 se comprobó la relación entre las pérdidas de velocidad en 40 m, de salto vertical y de golpeo en nueve secuencias de esfuerzos de alta intensidad con un minuto de recuperación entre unidades de esfuerzo. También se comprobó la relación entre esas pérdidas y: *a)* la concentración de amonio y lactato en sangre; *b)* la fuerza de las piernas del jugador; y *c)* el rendimiento aeróbico. Se realizó un diseño transversal con tres sesiones de evaluación (test de esfuerzos de alta

intensidad, test de resistencia aeróbica y medición de la fuerza de las piernas). La secuencia de esfuerzos de alta intensidad consistió en la realización de un esprint de 40 m, con cambio de sentido a los 20 m, seguido de un golpeo de balón a portería y de dos saltos verticales con cinco segundos de recuperación entre saltos. Esta secuencia se repitió nueve veces con un minuto de recuperación entre cada secuencia. El tiempo para cada esprint de 40 m se midió para calcular la pérdida de rendimiento conforme el jugador realizó las nueve secuencias. La altura del salto vertical fue obtenida a través de la medición del tiempo de vuelo en el salto. La velocidad de golpeo se midió con tres golpes a portería con la pierna dominante del jugador tras una carrera de aproximación de tres metros con la intención de aplicar la máxima fuerza posible en el golpeo. La fuerza de las piernas fue medida a través de la carga que el jugador fue capaz de desplazar a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla completa. La resistencia se evaluó por medio del test Yo-Yo nivel 1 de recuperación intermitente. Por último, la concentración de metabolitos se midió mediante extracciones de sangre en el pulpejo del dedo en reposo y tras la tercera, sexta y novena secuencia de esfuerzos repetidos.

## **2. Origen de la problemática**

La mejora de las prestaciones físicas se ha convertido en un aspecto determinante en el deporte de competición actual (Martin y Lehnertz, 2001; Viru y Viru, 2003). Esto no ocurre solo en las modalidades en las que el deportista compite contra un crono o una marca, directamente relacionadas con el potencial de su condición física, sino también en aquellas otras especialidades en las que el componente técnico-táctico-decisional juega un papel fundamental en la consecución del rendimiento. En estas modalidades cada vez se pone más de manifiesto la importancia de correr más y más rápido, de saltar más alto o más lejos, de lanzar, cargar o golpear más fuerte y de ejecutar cualquier acción técnica en unas condiciones espacio-temporales cada vez más reducidas. En este tipo de deportes se encuentra el fútbol, habiéndose observado en los últimos años una importante evolución en el rendimiento físico de los jugadores sin que se haya efectuado una modificación en las dimensiones de los espacios de juego en que se desarrollan (Barnes et al., 2014). Como consecuencia, el empleo de espacios similares pero con jugadores con mayor capacidad y velocidad de desplazamiento ha provocado, por ejemplo, que los tiempos de la toma de decisión sean menores, los espacios sin oposición directa en el terreno de juego sean casi inexistentes y la necesidad de ejecutar las acciones en menor tiempo pero con las máximas garantías de éxito sea la norma de actuación en el desarrollo de un encuentro (Wallace y Norton, 2014).

No obstante, la consecución del máximo rendimiento en cualquiera de sus vertientes no es nada sencilla. El proceso a través del cual los entrenadores buscan conseguir las adaptaciones que impliquen una mejora del rendimiento son motivo de investigación continua. Diferentes estudios se han centrado en el análisis de las exigencias competitivas, de las prestaciones físicas de los jugadores, de las posibles relaciones existentes entre exigencias y prestaciones y en el proceso necesario para la consecución de las adaptaciones que pueden llevar al jugador a la consecución de estas últimas. Los estudios centrados en las exigencias competitivas permiten conocer la magnitud del factor estresante, la competición. Los centrados en las prestaciones físicas de los jugadores establecen un perfil de jugador capaz de afrontar esas demandas competitivas. Por medio de estudios

correlacionales, en los que se analiza la varianza común explicada, se intenta conocer qué variables pueden ser las determinantes del rendimiento, mientras que a través de las investigaciones centradas en el entrenamiento realizado, se intenta comprobar las posibles relaciones de causalidad entre lo efectuado mediante la acción de entrenar y los cambios conseguidos en determinadas variables físicas consideradas relevantes para el rendimiento del jugador.

En estas líneas pretende incidir la presente Tesis Doctoral, efectuando un análisis tanto descriptivo como correlacional e inferencial de las variaciones en el rendimiento físico a lo largo de cuatro meses de entrenamiento y competición en jugadores de fútbol sub-19, y un análisis de la importancia de diferentes variables determinantes de la fuerza y resistencia del futbolista sobre su capacidad de esprintar y mantener el rendimiento ante la repetición de esfuerzos de alta intensidad.

## **3. Estado actual de conocimiento**

### **3.1 Características del esfuerzo en competición efectuado por el jugador de fútbol**

El fútbol es un deporte caracterizado por la elevada presencia de esfuerzos de carácter intermitente durante el transcurso de los noventa minutos de duración de un encuentro (Bangsbo, 1997; Bradley et al., 2013). Diferentes investigaciones han puesto de manifiesto ese carácter intermitente, centrándose en el estudio de variables mecánicas como la distancia recorrida, el número de acciones o la velocidad de desplazamiento (Bloomfield et al., 2007; Vigne et al., 2010; Dellal et al., 2011; Wehbe et al., 2014) y en el estudio de distintas variables fisiológicas entre las que destacan la frecuencia cardiaca (Helgerud et al., 2001; Dellal et al., 2012) el consumo máximo de oxígeno (Hoff et al., 2002; Impellizzeri et al., 2005) o la concentración de metabolitos como lactato o amonio (Jacobs et al., 1982; Krusturup et al., 2006). A través del análisis de estas variables se ha intentado establecer un perfil de requerimiento físico, para a través de éste, determinar los niveles de condición física necesarios en el jugador para afrontar con mayores garantías la competición.

#### 3.1.1 Variables mecánicas determinantes del esfuerzo en competición

Los primeros estudios para la valoración de las demandas físicas y fisiológicas en el fútbol datan de los años 50 y 60 (Bloomfield et al., 2005) y se centraron en la cuantificación de las distancias recorridas por los jugadores durante los noventa minutos de partido. En estudios realizados posteriormente se concluyó que a la distancia recorrida habría que añadir la intensidad o velocidad a la que se recorría con el fin de obtener una información más relevante para el análisis de la exigencia física del juego. En este sentido se evoluciona en el análisis del juego, clasificando los movimientos realizados por el jugador en función de diferentes categorías de intensidad o velocidad, analizando cuantitativamente el esfuerzo a través de nuevos sistemas informáticos (Ali y Farrali, 1991), lo que ha permitido ir obteniendo paulatinamente mayor fiabilidad en los datos obtenidos. Por tanto, la evolución de los sistemas de medición junto con la irrupción de los sistemas

informáticos han hecho que se pase de la mera observación manual y las estimaciones en función de la zancada (Reilly y Thomas 1976), a la utilización de los primeros sistemas de codificación informáticos (Ali y Farrali 1991), los más modernos y complejos sistemas actuales de grabación y tratamiento informático del movimiento de los jugadores sobre el terreno de juego (Barros et al., 2007; Di Salvo et al., 2009; Di Salvo et al., 2010; Dellal et al., 2011) y la utilización de la tecnología GPS (Buchheit et al., 2014).

En la línea de la evaluación cuantitativa de la distancia total recorrida por el futbolista para el conocimiento más aproximado del esfuerzo en competición, uno de los estudios pioneros y más citado con posterioridad en la literatura internacional es el de Reilly y Thomas (1976). En este estudio, en función de la longitud de zancada se estimó la distancia total recorrida en un encuentro y la velocidad de desplazamiento de 40 jugadores de la Premier League. Los resultados mostraron que el jugador recorría entre 7-13 km, y de éstos trotando un 36%, caminando un 24%, corriendo un 20%, esprintando un 11%, desplazándose de espaldas un 7% y en contacto con el balón solo recorre el 2% de esa distancia total. Además analizaron las diferencias entre jugadores que ocupaban diferentes demarcaciones en el campo y la frecuencia con la que aparecen determinados movimientos, comprobando que durante un encuentro de fútbol cada noventa segundos se realizaba un esprint máximo efectuado en la mayoría de los casos para apoyar al jugador que posee el balón o para intentar contrarrestar al oponente. Posteriormente y en la línea del estudio de Reilly y Thomas (1976), se han efectuado otras investigaciones en las que se diferenciaron diferentes intensidades de desplazamiento, determinadas a través de la velocidad y categorías de desplazamiento (andar, trotar, correr y esprintar, así como la categoría llamada de desplazamientos utilitarios para aquellos efectuados de espaldas o lateralmente). Con posterioridad, estas categorías han ido estableciéndose en función de una velocidad concreta de desplazamiento, pero sin existir consenso al respecto.

Como consecuencia de la utilización de diferentes metodologías para la obtención y el cálculo de las variables expuestas, se dificulta la comparación entre los diferentes estudios. Aun así, se puede efectuar una aproximación al esfuerzo

realizado a través de la distancia recorrida con jugadores de élite en los últimos años (Vigne et al., 2010; Bradley et al., 2013; Barnes et al., 2014). Esta distancia se sitúa en torno a 8-13 km, apreciándose diferencias significativas entre jugadores que ocupan distintas posiciones en el terreno de juego (Bloomfield et al., 2007; Di Salvo et al., 2010; Vigne et al., 2010; Dellal et al., 2011; Zubillaga, 2006) e incluso entre jugadores que compiten en diferentes ligas (Dellal et al., 2011; Wehbe et al., 2013). Estos estudios muestran que los centrocampistas son los jugadores que mayor distancia recorren y están menos tiempo parados, los delanteros los que realizan más esprints a máxima velocidad, y éstos y los defensas recorren mayor distancia andando y esprintando que los centrocampistas. Estos trabajos ponen de manifiesto que los diferentes roles que llevan a cabo los jugadores en función del puesto de juego tienen como consecuencia diferentes exigencias físicas.

Pero para estimar con mayor fiabilidad las exigencias físicas y fisiológicas de un encuentro de fútbol, no sólo es necesario tener en cuenta la distancia y la velocidad a la que se recorre esa distancia, sino que será de gran valor conocer la frecuencia con la que aparecen los esfuerzos máximos y la cantidad y duración de acciones que el jugador ejecuta sin que supongan un desplazamiento en sí, puesto que acciones como las entradas, los saltos, los giros, las cargas o los pases supondrán a lo largo de un partido un importante desgaste para el futbolista.

Reilly (2003) encontró durante un encuentro de fútbol 1000 cambios de actividad, uno cada seis segundos. Rienzi et al. (2000) constataron 1431 cambios de actividad por jugador durante un encuentro, lo que supone un cambio cada 4 segundos, mientras que Bloomfield, Polman y O'Donoghue (2007) registraron 1563 cambios. En este último estudio al menos un tercio de estos cambios corresponden a giros en las diferentes direcciones posibles, siendo los centrocampistas y defensas los que mayor número de saltos, cargas y entradas realizan. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Bangsbo (1994) y Reilly (2003). En relación a los esfuerzos de alta intensidad, Di Salvo et al. (2010) cuantificaron que los futbolistas de élite que compitieron en UEFA y Champions League efectuaron entre 17 (defensas centrales) y 35 (centrocampistas de banda) esprints máximos



(desplazamientos por encima de  $25 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ), mostrando de nuevo las diferencias por puesto específico detalladas desde los primeros estudios realizados.

Como consecuencia de estas acciones descritas, agrupadas comúnmente como variables mecánicas, y que reflejan el trabajo mecánico desarrollado por el jugador, se manifiesta una respuesta del organismo medida a través de diferentes variables fisiológicas que han sido motivo de investigación para profundizar en el conocimiento del esfuerzo real que supone la competición.

### 3.1.2 Variables fisiológicas indicadoras del esfuerzo en competición

Una de las variables fisiológicas más utilizadas para el control del esfuerzo ha sido la frecuencia cardiaca. En competición se han encontrado valores de frecuencia cardiaca media en torno al 85% de la frecuencia cardiaca máxima (Stroyer et al., 2004; Stolen et al., 2005). Aunque muy utilizada, la validez de esta variable ha sido puesta en entredicho debido a la lentitud con la que responde a los cambios de intensidad tantas veces producidos en el fútbol. Sin embargo, a partir de la alta relación encontrada entre frecuencia cardiaca y consumo de oxígeno (Bangsbo, 1994), su uso ha sido avalado como variable representativa del esfuerzo en diferentes situaciones de entrenamiento (Hoff et al., 2002; Espósito et al., 2004).

En relación a la contribución de las distintas vías energéticas, se ha observado que la participación de la vía aeróbica está entre el 70-80% del total de energía utilizada (Van Gool et al., 1988; Bangsbo, 1994). Esto indica que la predominancia aeróbica es notable, aunque los constantes cambios de intensidad en las acciones propias del juego implican la utilización ocasional de otras vías de manera prioritaria para acciones de alta intensidad. La duración del partido y las frecuentes acciones de alta intensidad hacen que se produzca una importante depleción de glucógeno (Krustrup et al., 2006), así como la utilización en algunas fases de las vías de urgencia de producción de energía, teniendo como resultado la producción de amonio e hipoxantina, lo cual indica que la aportación de energía por vía anaeróbica también juega un papel relevante en el rendimiento del jugador. De hecho, Faude et al. (2012) encontraron que el 83% de los goles conseguidos en la Bundesliga a lo largo de una temporada fueron precedidos de acciones

dependientes del metabolismo anaeróbico (esprints, saltos, giros y cambios de dirección efectuados a alta intensidad). Como resultado de esta activación del metabolismo anaeróbico, aumenta la concentración de lactato en sangre, pero la dificultad que conlleva el registro de esta variable en competición y su dependencia del momento en el que se toma la muestra de sangre, hacen que sean muy pocos los estudios en los que se hayan tomado muestras durante un partido. En estos estudios se han encontrado valores medios de lactato en plasma en torno a 6-7 mmol/l con picos individuales por encima de 12mmol/l (Ekblom, 1986; Bangsbo, 1994; Krstrup et al., 2006).

### **3.2 El rendimiento condicional del futbolista y su relación con el esfuerzo en competición**

El rendimiento condicional del futbolista se suele valorar por el grado de desarrollo de cualidades como la resistencia, la fuerza y la velocidad en acciones específicas o en tests orientados a la medición de las mismas.

#### **3.2.1 La importancia de la resistencia en el jugador de fútbol**

De los datos de los diferentes estudios mencionados sobre tiempo-movimiento se extrae como conclusión que la resistencia es una cualidad de base en el futbolista. Durante los noventa minutos de un encuentro los jugadores recorren entre ocho y trece kilómetros (Zubillaga, 2006; Barros et al., 2007; Vigne et al., 2010; Dellal et al., 2011; Bradley et al., 2013) a una intensidad próxima al umbral anaeróbico (Helgerud et al., 2001; Hoff y Helgerud, 2004). Este amplio margen en la distancia recorrida se ha propuesto que se debe a diferentes factores, como el nivel técnico de los jugadores (Rampinini et al., 2009), la condición física medida a través del Yo-Yo Intermittent Recovery Test (Krstrup et al., 2015), la disposición táctica empleada por los equipos (Bradley et al., 2011) e incluso la posesión del balón (Bradley et al., 2013).

Independientemente de la posible influencia de todas estas variables, el jugador siempre necesitará poseer una importante capacidad y potencia aeróbicas, que le

proporcionarán la energía necesaria para afrontar tanto los periodos de moderada y baja demanda energética como la más rápida recuperación de los de alta intensidad. De esta manera, los inconvenientes derivados de una alta acidez provocada por la contribución del metabolismo anaeróbico serían menores.

Las variables más utilizadas para la evaluación de la capacidad aeróbica en el futbolista son el consumo máximo de oxígeno ( $VO_{2m\acute{a}x}$ ), el umbral anaeróbico y la economía de carrera (Svensson y Drust, 2005). El  $VO_{2m\acute{a}x}$  se utiliza habitualmente como indicador de la resistencia en jugadores de fútbol, encontrándose valores medios en torno a los 60 ml/kg/min (Impellizzeri et al., 2005; Silvestre et al., 2006). La importancia de esta variable en el rendimiento del jugador de fútbol ha sido destacada por la relación encontrada entre el  $VO_{2m\acute{a}x}$  y diferentes indicadores físicos del rendimiento en competición. Un incremento del  $VO_{2m\acute{a}x}$  tras la introducción de entrenamiento interválico en el entrenamiento semanal fue acompañado por un aumento significativo en la distancia recorrida por el jugador ( $p \leq 0.01$ ), el número de sprints efectuados ( $p \leq 0.01$ ) y el número de intervenciones directas sobre el balón ( $p \leq 0.05$ ) (Helgerud et al., 2001). También se ha observado que puede ser una variable diferenciadora del nivel de los jugadores, al encontrarse en algunos estudios diferencias significativas en función de la posición final en la liga o en función del nivel de la división en la que se compita (Wisloff et al., 1998; Dowson et al., 2002; Ostojic, 2003; Arnasson et al., 2004). Algunos de estos estudios deben de interpretarse con cautela. Por ejemplo, el estudio de Helgerud et al. (2001) es efectuado al inicio de la temporada consiguiendo una mejora en el  $VO_{2m\acute{a}x}$  del 10.8% ( $58.1 \pm 4.5 - 64.3 \pm 3.9$  ml/kg/min) con 16 sesiones de entrenamiento a lo largo de 8 semanas.

Si bien los estudios de Wisloff et al. (1998) y Arnasson et al. (2004) mostraron mayor rendimiento aeróbico medido en test incremental en cinta en jugadores de mayor nivel (en función de la posición en la tabla clasificatoria), un estudio reciente (Bradley et al., 2013) efectuado con jugadores de las tres primeras divisiones inglesas (Premier, Championship, League 1) contradice estos hallazgos al no encontrar diferencias significativas en los metros recorridos en el Yo-Yo Intermittent Endurance Test Level 2 por jugadores profesionales ( $2364 \pm 478$  m

jugadores de Premier;  $2268 \pm 567$  m Championship;  $2226 \pm 432$  m Ligue 1). Sin embargo y coincidiendo con el estudio citado de Helgerud et al., (2001), el rendimiento aeróbico en este test de campo presentó correlación positiva significativa con la distancia total y la distancia recorrida a alta intensidad en los partidos ( $r = 0.54-0.64$ ;  $p \leq 0.05$ ).

Los Yo-Yo tests elaborados por Bangsbo (1994) y el 20 m shuttle run test validado por Léger y Lambert (1982) (correlación entre  $VO_{2m\acute{a}x}$  en laboratorio y distancia recorrida igual a 0.97) son los más empleados a la hora de medir el rendimiento aeróbico del futbolista en campo. Estos tests tienen en común que son efectuados realizando recorridos de ida y vuelta entre dos líneas separadas 20 m, a una intensidad progresiva marcada por una señal acústica, dando como resultado final una distancia recorrida. Castagna et al. (2006) y Krusturup et al. (2006) encontraron una correlación de 0.75 y 0.56, respectivamente, entre la obtención directa del  $VO_{2m\acute{a}x}$  en laboratorio y el Yo-Yo Intermittent Recovery Level 2 con futbolistas. Sin embargo, esta correlación no está exenta de controversia, no habiéndose encontrando en varios estudios correlación entre la medición directa del  $VO_{2m\acute{a}x}$  y la estimación por medio de la prueba de campo (Chamari et al., 2004; Aziz et al., 2005; Metaxas et al., 2005).

Aparte de estas variables descritas, la utilización de la velocidad aeróbica máxima del futbolista, definida como la velocidad mínima que se requiere para alcanzar el consumo máximo de oxígeno (Billat, 2002), también permite estimar la capacidad de rendimiento aeróbico del futbolista. Los escasos recursos necesarios para su determinación y la alta fiabilidad y validez encontradas (Berthoin et al., 1994; Léger y Boucher, 1980) justificarían la realización de esta medición. Con jugadores de fútbol profesionales, la velocidad aeróbica máxima ha presentado relación con el rendimiento en ejercicios intermitentes de alta intensidad (Dupont et al., 2010), y con jugadores jóvenes (13-18 años) esta variable presentó relación con la distancia recorrida a alta intensidad ( $>16 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) en un partido (Buchheit et al., 2010).

### 3.2.2 La importancia de la fuerza en el jugador de fútbol

Aunque en un contexto predominantemente aeróbico, los esfuerzos de alta intensidad, en muchos casos determinantes del rendimiento en el juego, tienen su base en la capacidad de producción de fuerza. Por tanto, la fuerza de los miembros inferiores del futbolista es considerada como una capacidad importante para la realización de saltos, giros, golpeos, lanzamientos, entradas y cargas realizadas para mantener la posesión del balón o para conseguir o evitar el gol (Hoff, 2005). De hecho, como se ha indicado con anterioridad, tras analizar 360 goles conseguidos en partidos de la Bundesliga (Faude et al., 2012), el 83% de éstos fueron precedidos de acciones catalogadas por los autores como “potentes” (esprints, saltos, giros y cambios de dirección esprintando). Estos resultados sugieren que el jugador necesitará en numerosas ocasiones generar una alta producción de fuerza en la unidad de tiempo. La medición de esta variable es uno de los criterios de mayor validez para efectuar valoraciones del rendimiento deportivo (González-Badillo y Gorostiaga, 1995). En el caso de los futbolistas se valora a través de los cambios de velocidad de desplazamiento y en la capacidad de desplazar el centro de gravedad del propio cuerpo en ejercicios como el salto vertical, habiéndose encontrado diferencias significativas entre jugadores de diferentes niveles en el rendimiento alcanzado en estos ejercicios (Tíryakí et al., 1997; Wisloff et al., 1998; Cometti et al., 2001; Arnason et al., 2004).

Uno de los objetivos prioritarios del entrenamiento de fuerza en el futbolista debe ser la mejora de su capacidad de desplazarse, tanto en sentido horizontal, por medio de las aceleraciones y cambios de dirección, como en sentido vertical a través de la capacidad de salto. La importancia de la capacidad de aceleración queda justificada por el hecho de que en competición se realizan con alta frecuencia esprints entre cinco y quince metros (Bangsbo y Mohr, 2005; Vigne et al., 2010) y por la importancia del esprint de cara a la consecución del gol (Faude et al., 2012). Debido a la implicación de la fuerza de la musculatura extensora de cadera, rodilla y tobillo en la realización del esprint, ejercicios como la sentadilla y el salto han sido muy empleados para la mejora de esta acción del deportista (Young et al., 1995; Wisloff et al., 1998; Baker y Nance, 1999; Hennessy y Kilty,

2001; Sleivert y Taingahue, 2004; Cronin y Hansen, 2005; Requena et al., 2009; Harris et al., 2010; Keiner et al., 2013). Los estudios han mostrado que la capacidad de salto y el máximo peso capaz de desplazar un número determinado de veces en un ejercicio como la sentadilla (1RM-XRM) están relacionados con la capacidad de aceleración del futbolista (Wisloff et al., 1998; Wisloff et al., 2004; Comfort et al., 2014) y por tanto su uso se ha extendido como estrategia para la mejora de esta cualidad (Keiner et al., 2013; Loturco et al., 2013). Sin embargo, estas relaciones encontradas no han sido concluyentes. Mientras que Wisloff et al. (1998) encontraron relaciones fuertes y moderadas entre 1RM en sentadilla completa y el tiempo empleado en recorrer 10 m a máxima velocidad, Cronin y Hansen (2005) no encontraron relación alguna entre 3RM en sentadilla y el tiempo empleado en recorrer 5 m, 10 m y 30 m. Puede que estos resultados opuestos tengan relación con la manera de medir la fuerza de las piernas. Habitualmente se utiliza 1RM o XRM. En los dos casos la imprecisión de la medida puede ser alta por la diferente velocidad con la que se alcanzan dichos valores de RM (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Es probable que la realización de mediciones más precisas llevadas a cabo a través de la velocidad a la que se desplazan cargas medias o ligeras pueda dar información relevante sobre la relación entre la fuerza de las piernas y el rendimiento en velocidad y salto.

La medición y el entrenamiento de la fuerza basados en 1RM presenta algunos inconvenientes. El primero relacionado con el riesgo de lesión por llevar al deportista hasta el fallo muscular, tanto en la determinación de 1RM como en la posterior realización de entrenamientos con series de XRM. Por otro lado, la determinación de 1RM no está exenta de falta de precisión si la velocidad a la que se ejecuta no se controla. La velocidad máxima de desplazamiento de la carga de 1RM en sentadilla completa es  $\sim 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (González-Badillo, 2000). Por tanto, toda determinación de 1RM efectuada con una carga que se haya desplazado a una velocidad superior a la indicada tenderá a alejarse de la verdadera RM del sujeto, lo que modificará la posible relación de este valor con otras variables y supondrá un posterior error en la determinación de las cargas a emplear durante el proceso de entrenamiento. En consecuencia, la carga absoluta (peso) propuesta al deportista durante el entrenamiento no se corresponderá con la carga real (grado

de esfuerzo) programada. Con respecto a la medición de la fuerza y la prescripción del entrenamiento utilizando el procedimiento de XRM, existen los inconvenientes de aumentar el riesgo de lesión y producir un alto grado de fatiga, expresado a través de la pérdida de velocidad post-esfuerzo y las altas concentraciones de amonio y lactato (Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011). Además esta metodología del entrenamiento no ha mostrado que sea superior a la utilización de un carácter del esfuerzo menor para mejorar la fuerza (Izquierdo et al., 2006; Izquierdo-Gabarren et al., 2010).

### 3.2.3 La importancia de la capacidad de mantener el rendimiento en esprints repetidos en el jugador de fútbol

Dado que el fútbol se caracteriza por una presencia continua de esfuerzos intermitentes de intensidad variable, la capacidad del futbolista para mantener altos valores de velocidad de desplazamiento, saltos y cambios de dirección se ha propuesto como una capacidad relevante para el rendimiento (Rampinini et al., 2009; Girard et al., 2011). Para conocer cuáles son los aspectos determinantes del rendimiento en este tipo de esfuerzos repetidos, se han realizado numerosos estudios (Girard et al., 2011). El término utilizado en la literatura internacional es *Repeated Sprint Ability* (RSA) y hace referencia a la capacidad del jugador de mantener la velocidad en una serie de esprints sobre una distancia dada y con un tiempo de recuperación previamente establecidos entre la realización de cada esprint.

Entre las variables analizadas como posibles determinantes de este tipo de esfuerzos, se encuentra el consumo máximo de oxígeno (Castagna et al., 2007; Dupont et al., 2005; Da Silva et al., 2010), aunque no existe unanimidad acerca de la importancia del mismo. Otra variable podría ser la potencia del jugador de fútbol en ejercicios ampliamente utilizados como son la sentadilla y los saltos con carga (Gorostiaga et al., 2004; Jullien et al., 2008; Wong et al., 2010). Sin embargo, aunque el rendimiento en el esprint y las variables determinantes de la fuerza de los miembros inferiores del jugador en esos ejercicios han mostrado estar relacionados (Wisloff et al., 2004; Comfort et al., 2013), no conocemos estudios en los que se haya analizado la posible relación entre la potencia del jugador medida

en sentadilla y salto y su capacidad de rendimiento en esfuerzos repetidos. Además, la mayoría de los protocolos empleados utilizan esprints cortos (<10 segundos) repetidos con periodos de recuperación inferiores a 60 segundos (Girard et al., 2011), mientras que el análisis en competición de las acciones de alta intensidad muestra un ratio trabajo/recuperación diferente. En concreto, Bradley et al. (2009) mostraron en futbolistas de élite un esfuerzo de alta intensidad (>19.8 km/h) cada 72-90 segundos, y cuando el esfuerzo fue superior (> 25 km/h), los jugadores llegaron a efectuar entre un esfuerzo cada 2.5 minutos (centrocampista de banda) ó 5 minutos (defensa central) por partido (Di Salvo et al., 2010). Esto supone una relación trabajo/descanso diferente a la empleada en los estudios centrados en la capacidad de resistir ante esprints repetidos efectuados con jugadores de fútbol. Como consecuencia, los estudios analizados someten al jugador a una sucesión de esfuerzos con tiempos de recuperación alejados de los que se producen en competición, siendo necesaria la realización de estudios que muestren la posible relación entre la potencia del jugador y la capacidad de efectuar secuencias de esfuerzos con tiempos de recuperación más similares a los producidos durante un encuentro de fútbol.

### **3.3 El control de la carga en el proceso de entrenamiento en campo**

El análisis efectuado hasta el momento ha puesto de manifiesto la importancia de diferentes variables mecánicas y fisiológicas representativas de la resistencia, la fuerza y la velocidad en el jugador de fútbol, así como la relación entre éstas y el esfuerzo realizado en competición. Desde el punto de vista de la investigación, la mayoría de los estudios han sido de carácter transversal, centrándose en las diferencias en el rendimiento físico en función de la categoría en la que juegue el futbolista (Cometti et al., 2001; Rebelo et al., 2013), la medición de la velocidad máxima (Méndez-Villanueva et al., 2011) o la importancia del rendimiento aeróbico en la capacidad de repetir esprints (Da Silva et al., 2010; Gibson et al., 2013). Sin embargo, pocos estudios han analizado longitudinalmente los procesos de adaptación que culminan en la mejora de las prestaciones físicas del futbolista. En periodos concretos de la temporada han sido encontradas mejoras en la



capacidad de repetir sprints (Owen et al., 2012), la resistencia medida por medio del  $VO_{2m\acute{a}x}$  (Castagna et al., 2013) y la capacidad de salto y velocidad (Chelly et al., 2009; Hermassi et al., 2011). Estos estudios tienen en común la aplicación de cargas de entrenamiento durante cortos periodos (6-12 semanas), centrándose en la mejora de una cualidad concreta sin analizar de manera más global los cambios en el rendimiento físico de los jugadores. Este análisis restringido del rendimiento del jugador choca con su acción motriz en entrenamiento y competición, donde se manifiesta tanto la capacidad de resistencia como de fuerza o velocidad. Sin embargo, los estudios que analizan los cambios en esas cualidades son escasos (Wong et al., 2010; Helgerud et al., 2011). Las adaptaciones provocadas por el entrenamiento de resistencia y el entrenamiento de fuerza son opuestas. Mientras que el entrenamiento de resistencia produce un aumento de la densidad capilar (Klaussen et al., 1981), aumento de volumen y densidad mitocondrial (Hoppeler, 1986), el aumento de la actividad enzimática oxidativa (Schantz et al., 1983) y el descenso del tamaño de la fibra muscular (Terrados, 1986), las adaptaciones provocadas por el entrenamiento de fuerza han mostrado un descenso de la densidad y el volumen mitocondrial y capilar (Macdougall et al., 1982; Shantz et al., 1983). Estos efectos opuestos dificultan la mejora del rendimiento condicional del jugador de fútbol siendo necesaria la realización de estudios que muestren los efectos que el entrenamiento simultáneo de fuerza y resistencia tiene sobre el rendimiento del futbolista. Para la consecución de este propósito es fundamental el control de la carga de entrenamiento como factor estresante y desencadenante de las diferentes adaptaciones del organismo. En este aspecto concreto algunos estudios no han realizado ningún tipo de control (Ostojic, 2003; Kraemer et al., 2004), otros han cuantificado el tiempo dedicado a ejercicios con diferente orientación (Rebelo y Soares, 1997), la distancia recorrida a diferentes intensidades (Di Salvo y Pigozzi, 1998), valores obtenidos en función de la percepción subjetiva del esfuerzo (Akubat et al., 2012), las velocidades y distancias recorridas obtenidas mediante tecnología GPS (Casamichana et al., 2012) o zonas de intensidad de frecuencia cardiaca obtenidas a partir de la concentración de lactato medida en prueba incremental (Castagna et al., 2013). Otro de los procedimientos utilizado para el control de la carga de entrenamiento es el uso de

sistemas de registro de la frecuencia cardiaca (Suunto Team; Hosand TM200 System; POLAR Team System). Como se ha comentado con anterioridad, la frecuencia cardiaca es una variable indicativa del esfuerzo del jugador. Su fiabilidad y validez como variable fisiológica representativa de la intensidad del esfuerzo realizado ha sido probada (Hoff et al., 2002; Impellizzeri et al., 2005) y el avance de la tecnología en los últimos años ha posibilitado la aparición de sistemas telemétricos para el registro y análisis de este parámetro facilitando su utilización en entrenamientos y partidos, minimizando los riesgos de lesión para los deportistas y siendo una de las herramientas más empleadas para la monitorización y el control de la carga de entrenamiento del futbolista.

## **4. Estudio 1**

### **Publicación 1**

**Effect of forth months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams**

**Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19**

#### **4.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación.**

A lo largo de la revisión teórica se ha puesto de manifiesto la existencia de numerosas publicaciones centradas en el estudio de los cambios en el rendimiento aeróbico del jugador de fútbol juvenil (Helgerud et al., 2001; Edwards et al., 2003; Chamari et al., 2004). Sin embargo, no hemos encontrado estudios centrados en el efecto de la aplicación de un entrenamiento de fuerza prescrito a través de la velocidad de desplazamiento de la carga en sentadilla completa en esta población ni tampoco estudios en los que se comparase el efecto del entrenamiento de fuerza más el entrenamiento específico técnico-táctico frente al exclusivo entrenamiento específico sobre el rendimiento físico de dos equipos sub-19 (División de Honor Nacional) que compitieron en la misma categoría. Por tanto, nos planteamos el siguiente problema de investigación.

##### **Problema 1**

¿Cuál es el efecto del entrenamiento de fuerza, aceleración y resistencia sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol sub-19 de División de Honor española?

##### **Objetivo 1**

Comprobar el efecto del entrenamiento de fuerza con cargas y saltos y de resistencia sobre la fuerza muscular, la capacidad de salto, la aceleración y la velocidad aeróbica máxima.

El entrenamiento de fuerza efectuado con cargas externas ha mostrado un efecto positivo sobre la capacidad de salto, el rendimiento en el esprint (Rønnestad et al., 2008; Sander et al., 2013), la economía de carrera (Barnes y Kilding, 2015) y el rendimiento aeróbico (Hoff et al., 2002). Sin embargo, la mayoría de los estudios han sido efectuados con la utilización de cargas próximas a la 1RM del deportista, durante periodos concretos de la temporada limitados a unas pocas semanas de intervención y sin tener en cuenta la incidencia de este entrenamiento sobre el rendimiento aeróbico del jugador (Chamari et al., 2005; Wong et al., 2010). Por otro lado, el entrenamiento de fuerza con cargas ligeras movilizadas a altas velocidades ha mostrado ser efectivo para la mejora de la potencia muscular y la velocidad (Kraemer y Ratamess, 2000). En este sentido, una intervención de 11

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

semanas de entrenamiento en el que los ejercicios fundamentales fueron la sentadilla, los saltos verticales, los saltos de valla y los sprints, con cargas que representaron entre el 40-60% de 1RM, mostró ser eficaz para la mejora de la capacidad de salto y la aceleración de jóvenes futbolistas (Gorostiaga et al., 2004). Por tanto, es probable que la aplicación durante un periodo de tiempo más prolongado de fuerza (cuatro meses de entrenamiento) con cargas ligeras prescritas en función de la velocidad de desplazamiento de la carga, evitando la determinación y el empleo de cargas en función de 1RM, añadido al entrenamiento técnico-condicional, tenga un efecto positivo sobre la capacidad de salto, la aceleración y la resistencia del jugador de fútbol. Por ello planteamos la siguiente hipótesis:

**Hipótesis 1**

La aplicación de un entrenamiento de fuerza basado en la sentadilla completa y saltos aplicando cargas ligeras en ambos ejercicios, produce una mejora en la fuerza, la capacidad de salto, la aceleración y la resistencia mayor que el entrenamiento exclusivo físico-técnico habitual de fútbol.

**4.2 Metodología.**

**4.2.1 Tipo de investigación.**

Se efectuó un diseño cuasi-experimental de 15 semanas de tratamiento, con evaluación inicial ( $E_1$ ) al final de la pretemporada, y tras al menos cuatro semanas de entrenamiento, y evaluación final ( $E_2$ ) tras la primera vuelta de la liga regular después de 16 partidos oficiales de liga. La variable independiente fue el entrenamiento realizado por los dos equipos estudiados, mientras que las dependientes fueron la altura de salto vertical, la velocidad desplazamiento de la barra del multipower en sentadilla completa en un test progresivo con cargas, la capacidad de aceleración en 10 m, 20 m y 30 m y la velocidad aeróbica máxima de los jugadores. Todas las evaluaciones se efectuaron en tres semanas consecutivas y al menos 48 h después del último partido.

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

#### 4.2.2 Muestra.

Los jugadores de campo pertenecientes a dos equipos (Equipo A y B) juveniles (sub-19) que compitieron en el Grupo VII de la División de Honor española participaron en el estudio. Los jugadores del equipo A tenían  $18.4 \pm 0.6$  años,  $73.8 \pm 8.1$  kg de peso y  $178.9 \pm 7.9$  cm de altura. Los jugadores del equipo B  $18.1 \pm 0.8$  años,  $69.9 \pm 6.6$  kg de peso y  $175.5 \pm 4.9$  cm de altura. De estos jugadores sólo los datos de los que realizaron ambas evaluaciones fueron tenidos en cuenta para el análisis estadístico. Los sujetos participaron voluntariamente en el estudio y recibieron información sobre las características, objetivos y procedimientos del mismo. Todos los jugadores participantes firmaron su consentimiento por escrito, salvo los menores de edad que presentaron el consentimiento firmado por uno de sus padres.

#### 4.2.3 Procedimientos.

##### Medición de la fuerza.

La fuerza se midió en un laboratorio en condiciones estandarizadas por medio de los siguientes tests: salto con contramovimiento (CMJ), salto con contramovimiento con carga externa (CMJ<sub>c</sub>) y sentadilla completa con carga en multipower.

##### Salto con contramovimiento (CMJ).

La altura del salto vertical en centímetros se midió con las manos en la cintura y previa flexión de rodillas a 90 grados con la utilización de la plataforma de contactos (Ergo Jump Bosco System, S. Rufina de Cittaducale, RI, Italia). Cada jugador efectuó cinco saltos con dos minutos de recuperación. El mejor y el peor salto fueron descartados para el análisis posterior, tomando como dato representativo de la altura de salto el promedio de los otros tres saltos. El coeficiente de variación test-retest (CV) y el coeficiente de correlación intraclase (CCI) para estas medidas fueron respectivamente 5.8% y 0.95 (0.92-0.97). Después de este test los jugadores realizaron CMJ<sub>c</sub>.

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

Test progresivo de salto con contramovimiento con cargas CMJ<sub>c</sub> en multipower.

Se midió la altura del salto en centímetros con las manos en la barra del multipower y previa flexión de rodillas a 90 grados con la utilización de la plataforma de contactos (Ergo Jump Bosco System, S. Rufina de Cittaducale, RI, Italia). Cada jugador efectuó dos saltos consecutivos con cada carga y tuvo cuatro minutos de recuperación entre los saltos con las distintas cargas progresivas. El test se inició con 20 kg, incrementándose el peso de 10 kg en 10 kg hasta conseguir una altura de salto próxima a 20 cm. Se tomó esta altura como referencia, ya que la pérdida de fiabilidad (Vitasalo, 1985) y el riesgo de lesión aumentan progresivamente conforme los saltos son efectuados por debajo de esa altura. El coeficiente de variación test-retest (CV) para CMJ<sub>20</sub> y CMJ<sub>30</sub> fue respectivamente 4 y 4.3%, mientras que el coeficiente de correlación intraclase (CCI) para estas medidas fue 0.97 (0.96-0.98) (CMJ<sub>20</sub>) y 0.93 (0.90-95)(CMJ<sub>30</sub>).

Test progresivo con cargas en sentadilla completa (González Badillo y Gorostiaga, 1995; González Badillo y Ribas, 2002).

La aplicación de fuerza de los miembros inferiores del jugador sobre cada una de las cargas propuestas se midió en el ejercicio de sentadilla, a través de la velocidad media en la fase concéntrica del movimiento para cada una de las cargas empleadas. El instrumento de medida fue un transductor de posición digital rotatorio Real Power de Globus (Italia). El transductor fue conectado a un ordenador portátil que registró los datos a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, incorporando un temporizador con una precisión de 0.2 microsegundos. A partir de los datos de posición del cable y en función del tiempo empleado en realizar el movimiento, se calculaba la velocidad del desplazamiento de la barra en tiempo real. El test se inició con una carga de 20 kg (SC<sub>20</sub>), incrementándose de 10 kg en 10 kg con cuatro minutos de recuperación entre cada serie y con el número de repeticiones estandarizado en función de la velocidad de la repetición. Con las cargas que el futbolista desplazaba la barra del multipower a una velocidad  $\geq 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se realizaban tres repeticiones, mientras que con las que la barra era desplazada a una velocidad  $< 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  se realizaban dos. El mejor dato de velocidad

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

con cada carga fue tenido en cuenta para el posterior análisis estadístico. El test terminaba cuando el jugador desplazaba la carga a una velocidad  $< 0.7 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Medición de la aceleración.

Los jugadores corrieron tres carreras de 30 m en el campo de hierba artificial con cinco minutos de recuperación entre cada una. El tiempo en segundos y centésimas de segundo empleado en recorrer esos 30 metros y los parciales 10 m, 20 m, 10-20 m, 10-30 m y 20-30 m se midieron con células fotoeléctricas (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italy). La posición de salida fue estandarizada con el pie más adelantado sobre la línea de salida y los jugadores corrieron con la premisa de recorrer los 30 m en el menor tiempo posible. El menor tiempo de los tres intentos para cada uno de los parciales fue registrado para el posterior análisis. La velocidad del viento fue inferior a  $1.5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Se midió constantemente durante el test por medio de la estación meteorológica Oregon WMR-918 (Oregon Scientific, Tigard, OR, USA). El coeficiente de variación test retest fue 1.2-1.6% y el coeficiente de correlación intraclase  $0.92(0.88-0.94) - 0.99 (0.97-0.99)$ .

Medición de la velocidad aeróbica máxima.

Para la medición de la velocidad aeróbica máxima los jugadores realizaron el test de la Universidad de Montreal (Léger y Boucher, 1980). Este prueba de intensidad creciente hasta el agotamiento se realizó en una pista de atletismo con conos de referencia situados cada 25 m. La prueba se inició a una velocidad de ocho  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$ , con una progresión de  $1 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  cada dos minutos, finalizando la prueba cuando el deportista no era capaz de llegar a la referencia marcada por la señal correspondiente. La velocidad aeróbica máxima registrada fue la correspondiente al último incremento de velocidad completada acorde con el protocolo establecido (Léger y Boucher, 1980).

Entrenamiento realizado por los dos equipos.

Los jugadores del equipo A realizaron a lo largo del periodo comprendido entre la evaluación inicial y la evaluación final cuatro sesiones de entrenamiento semanales en campo más un partido de competición semanal. De las cuatro sesiones de entrenamiento, dos estaban centradas en el desarrollo de la condición física de los



*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

jugadores. El trabajo durante estas sesiones se centró en la mejora del rendimiento aeróbico de los futbolistas. Para ello los jugadores efectuaron series de carrera de alta intensidad, circuitos físico-técnicos y posesiones con grupos reducidos y amplios espacios, buscando que la intensidad durante las series de cuatro-seis minutos fuese máxima. Este entrenamiento era completado por una-dos sesiones de entrenamiento de fuerza por semana en sala de 30-45 minutos de duración antes del entrenamiento en campo. El entrenamiento de fuerza se desarrolló teniendo como ejercicios fundamentales el salto con y sin carga, la media sentadilla y la sentadilla completa (Tabla 1.1).

**Tabla 1.1** Entrenamiento complementario del equipo A

Nº de semana	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Nº Ses/Semana	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1		2	2	2
Ejercicios															
SC (m·s <sup>-1</sup> )	1.2	1	1	0.9	0.9	0.9	0.8	0.8	0.8	T					
(SxR)	8X4	6X6	3X6	4X4	2X4	2X4	2X4	3X4	4X4	E	1		1	1	0.9
MS (%C 1m·s <sup>-1</sup> )			100%	100%	110%	110%	120%	120%		S	2X4		7X4	5X4	5X4
(SxR)			2X4	3X4	1X4	2X4	2X4	2X4		T				3X4	3X4
CMJ <sub>c</sub> (%C 20 cm)		50%	50%	60%	60%	60%	70%	70%	70%	A					
(SxR)		4X4	2X4	3X4	1X4	3X4	3X4	5X4	4X4	J	50%		50%	50%	40%
CMJ	4X4	4X4								U	2X4		7X4	5X4	5X4
ARRASTRES			3	3		3			3	S	2X5		6X4	4X5	4X5
2º DE TRIPLE	2X5	3X5	4X5	6X5	6X5	4X5	4X5	4X5	4X5	T			3	3	6
DC					5	2	3	3		E			6X5	6X5	6

SC= Sentadilla completa; MS= Media sentadilla; CMJ<sub>c</sub>= CMJ con carga; %C1 m·s<sup>-1</sup>= % de la carga movilizada en el test de sentadilla completa a 1m·s<sup>-1</sup>; %C 20 cm= % de la carga con la que el jugador salta 20 cm aproximadamente; SxR= Series x Repeticiones; DC= desplazamientos con carga.

Las cargas empleadas por cada jugador fueron asignadas en función de la velocidad de desplazamiento de la barra del multipower en salto con carga y sentadilla completa obtenidas en el test inicial y en el test intermedio de control de velocidad realizados. La progresión fue efectuada con el objetivo de que los jugadores siempre trabajasen con una carga que fuesen capaces de movilizar en sentadilla completa aproximadamente a 1 m·s<sup>-1</sup>. En nuestro laboratorio hemos observado que la velocidad a 1 m·s<sup>-1</sup> corresponde aproximadamente con el 55% de 1RM y 0.8 m·s<sup>-1</sup> con el 70% de 1RM en el ejercicio de sentadilla. En la décima semana se recalculó la carga de 1 m·s<sup>-1</sup> en sentadilla completa y la carga con la que cada jugador consiguió saltar aproximadamente 20 cm para el entrenamiento de las siguientes semanas. El entrenamiento de fuerza era completado en el terreno

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

de juego realizando desplazamientos con cargas (5 kg) con cambios de dirección en series de seis-ocho segundos, desplazamientos en segundo de triple en series de seis-ocho apoyos y salidas de 15-20 m con trineos lastrados (10 kg). La semana de entrenamiento tipo del equipo A se muestra en la Tabla 1.2.

**Tabla 1.2** Semana tipo de entrenamiento del equipo A

L	M	X	J	V	S	D
Entrenamiento campo Salidas/Trineos Desarrollo condición física y técnico-táctico	Entrenamiento Fuerza + Entrenamiento campo Desarrollo condición física y técnico-táctico	Descanso	Entrenamiento Fuerza + Entrenamiento campo Salidas/Trineos Evoluciones y 2x20' 11vs11	Entrenamiento campo Estrategia y tiros a puerta	Partido	Descanso

Los jugadores del equipo B efectuaron durante las primeras ocho semanas de competición cuatro sesiones semanales de entrenamiento en campo más un partido de competición. Durante las ocho semanas siguientes efectuaron tres sesiones de entrenamiento más partido. En ambos periodos, de las tres o cuatro sesiones de entrenamiento semanales, una tenía como objetivo prioritario el desarrollo de la condición física de los jugadores. Durante esta sesión los jugadores efectuaron series de carrera continua de baja-moderada intensidad, entrenamiento interválico de moderada a alta intensidad y posesiones en espacios reducidos. La semana de entrenamiento tipo del equipo B se muestra en la Tabla 1.3.

**Tabla 1.3** Semana tipo de entrenamiento del equipo B

L	M	X	J	V	S	D
Entrenamiento campo recuperación Carrera continua Partido  Descanso	Entrenamiento campo Desarrollo condición física Saltos/Salidas	Partido amistoso	Descanso	Entrenamiento campo Estrategia Partidos reducidos Juegos	Descanso	Partido

La comparación entre el número de sesiones y el tiempo de trabajo total para ambos equipos se presenta en la Tabla 1.4.

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

**Tabla 1.4** Número y duración de sesiones de entrenamiento para el equipo A y el equipo B

	EQUIPO A		EQUIPO B	
	Número	Duración (h)	Número	Duración (h)
Sesiones técnico-tácticas	64	1.75	40	1.75
Sesiones desarrollo condición física	32	1.75	16	2
Sesiones entrenamiento de fuerza	23	0.75	0	
Totales	118	185.25	56	102

#### 4.2.4 Análisis estadístico.

Los datos son presentados como medias y desviaciones estándar (DE). Se aplicó un ANOVA para comprobar las diferencias entre grupos en el test inicial. Se aplicó un análisis de covarianza para comparar a ambos equipos en el test 2, mientras que para comparar los cambios intra-grupos se efectuó t-test para muestras relacionadas. Se consideró un nivel alfa  $p \leq 0.05$ . Se consideró un tamaño  $\leq 0.3$  como pequeño, entre 0.3-0.7 moderado y  $\geq 0.7$  grande (Atkinson y Nevill, 1998). El paquete estadístico utilizado fue SPSS 15.0.

#### 4.3 Resultados.

En la Tabla 1.5 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de valoración del rendimiento efectuadas al inicio ( $E_1$ ) y al final del periodo de estudio ( $E_2$ ).

##### 4.3.1 Resultados sobre la capacidad de salto: salto con contramovimiento (CMJ) y salto con contramovimiento con carga (CMJ<sub>20</sub>).

En  $E_1$  el equipo A saltó más que el B en ambos tests de salto, siendo esta diferencia estadísticamente significativa solo en CMJ<sub>20</sub> ( $p \leq 0.01$ ). En  $E_2$  el equipo A obtuvo también mejores resultados que el B en ambos tests, pero no de manera significativa.

Ambos equipos mejoraron con respecto a su propio test inicial su capacidad de salto, tanto con carga como sin ella, aunque sólo en el salto con carga estas mejoras fueron significativas ( $p \leq 0.05$  equipo A y  $p \leq 0.01$  equipo B) y presentaron tamaños de efecto moderado en el Equipo A (0.59) y grande en el B (0.7).

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

4.3.2 Resultados del test progresivo con cargas externas en sentadilla completa.

En E<sub>1</sub> el equipo A desplazó a más velocidad todas las cargas medidas, pero únicamente se encontraron diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la carga de 50 kg (SC<sub>50</sub>). En E<sub>2</sub> el equipo A continuó desplazando a más velocidad todas las cargas medidas excepto la carga de 70 kg (SC<sub>70</sub>), pero estas diferencias entre equipos sólo fueron significativas ( $p \leq 0.05$ ) en la carga de 30 kg (SC<sub>30</sub>).

Tras el periodo de estudio ambos equipos mejoraron la velocidad media de desplazamiento con cada carga medida. Estas mejoras fueron significativas y con tamaño del efecto moderado-grande (0.52-0.72) en el equipo A en SC<sub>20</sub> ( $p \leq 0.01$ ) y en SC<sub>30</sub> y SC<sub>40</sub> ( $p \leq 0.001$ ). El Equipo b tuvo mejoras significativas ( $p \leq 0.05$ ) y de tamaño moderado-grande (0.58-0.76) en SC<sub>50</sub> y SC<sub>60</sub>.

4.3.3 Capacidad de aceleración.

El equipo A obtuvo mejores resultados en E<sub>1</sub> en todas las distancias medidas, y estas diferencias fueron significativas en T<sub>10</sub>, T<sub>30</sub>, T<sub>10-30</sub> y T<sub>20-30</sub> ( $p \leq 0.01$ ). Sin embargo en E<sub>2</sub> todos los parciales medidos mostraron diferencias estadísticamente significativas ( $p \leq 0.05-0.001$ ) a favor del equipo B. El equipo A empeoró de manera significativa su rendimiento en las distancias evaluadas y con tamaños del efecto moderado-grande en T<sub>20</sub>, T<sub>30</sub>, T<sub>10-20</sub>, T<sub>10-30</sub> y T<sub>20-30</sub>, mientras que el equipo B mejoró en T<sub>10</sub>, T<sub>20</sub>, T<sub>30</sub>, T<sub>10-30</sub> y T<sub>20-30</sub>, pero sólo de manera significativa en T<sub>20-30</sub> ( $p \leq 0.05$ ), y con pequeño tamaño de efecto (0.29).

4.3.4 Velocidad aeróbica máxima.

Se encontraron diferencias significativas entre ambos equipos en E<sub>2</sub> ( $p \leq 0.01$ ). El equipo A mejoró en E<sub>2</sub> con respecto a E<sub>1</sub> ( $p \leq 0.01$ ) mostrando un tamaño de efecto grande (0.78), mientras que el equipo B empeoró de manera no significativa con pequeño tamaño de efecto (0.05).

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

**Tabla 1.5** Resultados de las evaluaciones del rendimiento físico efectuadas en los dos equipos durante el periodo de estudio (media  $\pm$  DE)

	EQUIPO A			EQUIPO B		
	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	TE	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	TE
CMJ (cm)	35.37 $\pm$ 5.1 n=13	37.12 $\pm$ 4.5 n=13	0.34	34.2 $\pm$ 5.1 n=12	35.44 $\pm$ 5.2 n=12	0.24
CMJ <sub>20</sub> (cm)	22.78 $\pm$ 3.6 <sup>#</sup> n=13	24.33 $\pm$ 3.4* n=13	0.44	18.93 $\pm$ 2.9 n=12	22.9 $\pm$ 4** n=12	1.14
SC <sub>20</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	1.37 $\pm$ 0.15 n=12	1.45 $\pm$ 0.12** n=12	0.59	1.33 $\pm$ 0.1 n=11	1.39 $\pm$ 0.07 n=11	0.7
SC <sub>30</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	1.27 $\pm$ 0.13 n=12	1.36 $\pm$ 0.12*** # n=12	0.72	1.25 $\pm$ 0.1 n=11	1.29 $\pm$ 0.08 n=11	0.44
SC <sub>40</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	1.16 $\pm$ 0.11 n=12	1.22 $\pm$ 0.12*** n=12	0.52	1.07 $\pm$ 0.15 n=11	1.15 $\pm$ 0.1 n=11	0.63
SC <sub>50</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	1.06 $\pm$ 0.12 <sup>#</sup> n=11	1.1 $\pm$ 0.12 n=11	0.33	0.89 $\pm$ 0.19 n=11	1.01 $\pm$ 0.12* n=11	0.76
SC <sub>60</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.88 $\pm$ 0.17 n=12	0.93 $\pm$ 0.14 n=12	0.32	0.78 $\pm$ 0.14 n=9	0.87 $\pm$ 0.17* n=9	0.58
SC <sub>70</sub> (m·s <sup>-1</sup> )	0.78 $\pm$ 0.14 n=8	0.82 $\pm$ 0.16 n=8	0.27	0.74 $\pm$ 0.11 n=5	0.87 $\pm$ 0.1 n=5	1.24
T <sub>10</sub> (s)	1.82 $\pm$ 0.06 <sup>#</sup> n=13	1.85 $\pm$ 0.1 n=13	0.36	1.88 $\pm$ 0.05 n=10	1.85 $\pm$ 0.06 <sup>#</sup> n=10	-0.54
T <sub>20</sub> (s)	3.08 $\pm$ 0.11 n=13	3.15 $\pm$ 0.13** n=13	0.58	3.16 $\pm$ 0.1 n=10	3.14 $\pm$ 0.09 <sup>##</sup> n=10	-0.21
T <sub>30</sub> (s)	4.25 $\pm$ 0.15 <sup>#</sup> n=13	4.35 $\pm$ 0.19** n=13	0.58	4.4 $\pm$ 0.15 n=10	4.36 $\pm$ 0.17 <sup>##</sup> n=10	-0.25
T <sub>10-20</sub> (s)	1.24 $\pm$ 0.05 n=13	1.28 $\pm$ 0.04*** n=13	0.88	1.27 $\pm$ 0.06 n=10	1.27 $\pm$ 0.03 <sup>#</sup> n=10	0
T <sub>10-30</sub> (s)	2.4 $\pm$ 0.09 <sup>#</sup> n=13	2.48 $\pm$ 0.09*** n=13	0.89	2.5 $\pm$ 0.12 n=10	2.49 $\pm$ 0.1 <sup>###</sup> n=10	-0.09
T <sub>20-30</sub> (s)	1.15 $\pm$ 0.05 <sup>#</sup> n=13	1.18 $\pm$ 0.05* n=13	0.6	1.22 $\pm$ 0.07 n=10	1.2 $\pm$ 0.07* <sup>#</sup> n=10	-0.29
VAM <sub>(km·h<sup>-1</sup>)</sub>	16.39 $\pm$ 0.28 n=15	16.91 $\pm$ 0.9** <sup>##</sup> n=15	0.78	15.72 $\pm$ 1.3 n=13	15.66 $\pm$ 1.2 n=13	-0.05

Valores representados como media  $\pm$  DE. Análisis intragrupos (\* $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ; \*\*\*  $p \leq 0.001$ ). Análisis intergrupos (<sup>#</sup> $p \leq 0.05$ ; <sup>##</sup>  $p \leq 0.01$ ; <sup>###</sup>  $p \leq 0.001$ ). E<sub>1</sub>= Evaluación inicial; E<sub>2</sub>= Evaluación final; TE: Tamaño del Efecto; CMJ= Salto con contramovimiento; CMJ<sub>20</sub>= Salto con contramovimiento con 20 kg; SC<sub>20</sub>= Sentadilla completa con 20 kg (significado equivalente en el resto de los casos); T<sub>10</sub>= Tiempo 10 m; T<sub>20</sub>= Tiempo 20 m; T<sub>30</sub>= Tiempo 30 m; T<sub>10-20</sub>= Tiempo 10-20 m; T<sub>10-30</sub>= Tiempo 10-30 m; T<sub>20-30</sub>= Tiempo 20-30 m; VAM= Velocidad aeróbica máxima.

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

4.3.5 Posición en la tabla clasificatoria.

Después del final de la primera vuelta de la liga regular, que coincidió con la evaluación final, ambos equipos disputaron 16 encuentros. El equipo A consiguió un total de 28 puntos, con 9 victorias, 6 derrotas y un empate. Hizo 26 goles y recibió 18. En ese momento ocupaba en la tabla clasificatoria la sexta plaza. El equipo B consiguió 14 puntos, con 4 victorias, 10 derrotas y 2 empates. Hizo 17 goles y encajó 18, ocupando la posición número 14, posición que conlleva descenso de categoría al final de la liga regular.

**4.4 Discusión.**

En este estudio se analizaron los cambios en el rendimiento físico (fuerza, aceleración y potencia aeróbica) producidos por las diferentes orientaciones del entrenamiento de dos equipos de fútbol sub-19.

En relación a la capacidad de salto, el equipo A mejoró CMJ (5%) y CMJ<sub>20</sub> (6.8%). Las mejoras obtenidas por el equipo A en ambas mediciones fueron similares a las encontradas en otro estudio (Gorostiaga et al., 2004) en futbolistas sub-19 después de 11 semanas de entrenamiento: 5.1% en CMJ y 7.5% en CMJ<sub>20</sub>. Los jugadores de este estudio efectuaron dos sesiones de entrenamiento semanales realizadas con cargas ligeras y medias a altas velocidades de contracción, entrenamiento similar al efectuado por el equipo A. Este tipo de entrenamiento podría explicar las mejoras encontradas en el salto.

El entrenamiento llevado a cabo por el equipo B produjo menores mejoras en CMJ (3.2%) que el aplicado al grupo A, aunque se dio un mayor incremento en CMJ<sub>20</sub> (20%) en el grupo B que en el A. La menor experiencia de este equipo en la realización de saltos con cargas pudo afectar a la primera medición, explicando de esta manera la elevada mejora de su rendimiento en CMJ<sub>20</sub> sin verse acompañada de similar mejora en CMJ. Estos resultados dieron lugar a que en E<sub>2</sub> no se observaran diferencias significativas entre los grupos en este ejercicio, a pesar de que en el test inicial las hubiera a favor del grupo A.

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

En otro estudio con jugadores de fútbol profesionales (Rønnestad et al., 2008), que también entrenaron la fuerza (3-5 series de 6-4 RM en media sentadilla) dos veces a la semana durante siete semanas de pretemporada, se consiguieron en la capacidad de salto mejoras similares no significativas (4.9%) a las encontradas en nuestro estudio. Dentro del mismo equipo, otro grupo realizó el mismo entrenamiento más ejercicios pliométricos (saltos hacia delante, laterales, y saltos de valla), obteniendo leves mejoras no significativas en CMJ (1.9%). La comparación de estos resultados con los obtenidos en el presente estudio, sugiere que el uso de cargas con un carácter del esfuerzo máximo (XRM) en el entrenamiento de la fuerza con jugadores de fútbol no ofrece mejores resultados para la mejora de la capacidad de salto que el empleo de cargas ligeras y moderadas movilizadas a altas velocidades.

En relación a la aplicación de fuerza medida por medio de la velocidad de desplazamiento de la barra del multipower en sentadilla completa, ambos equipos mejoraron con todas las cargas propuestas. Mientras que las mejoras del equipo A fueron mayores con cargas movilizadas a velocidades superiores a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , la mejoras del equipo B fueron mayores a velocidades inferiores, lo cual sugiere que el entrenamiento específico de fútbol sin entrenamiento adicional de fuerza es menos efectivo cuando se requieren elevadas velocidades de contracción.

Las mejoras obtenidas por el equipo A en la aplicación de fuerza medida a través del salto y la sentadilla completa fueron inferiores a las esperadas tras la ejecución del entrenamiento complementario de fuerza (Tabla 1.5). Este hecho podría deberse a la elevada carga de entrenamiento de resistencia efectuada por este equipo, lo cual pudo producir una interferencia con el entrenamiento de fuerza. Esta posible interferencia fue puesta de manifiesto en un estudio efectuado con estudiantes universitarios (Bell et al., 2000) que fueron divididos en tres grupos: grupo de entrenamiento de fuerza, entrenamiento de resistencia o combinación de ambos durante doce semanas. De los tres grupos, el que entrenó sólo la fuerza obtuvo mayores mejoras en 1RM medida en la extensión de rodillas. Las mejoras del  $\text{VO}_{2\text{max}}$  fueron similares en los sujetos que entrenaron resistencia y fuerza de manera concurrente y en aquellos que entrenaron solo la resistencia, mientras

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

que los sujetos que entrenaron ambas cualidades simultáneamente mejoraron menos en fuerza pero aumentaron significativamente el número de capilares por fibra muscular así como la actividad de la enzima succinato deshidrogenasa. Estos datos muestran que la combinación simultánea de fuerza y resistencia puede reducir las mejoras en la fuerza a favor de la capilarización del músculo esquelético, incrementando su capacidad oxidativa. En otros estudios, pero con población genérica deportista, se encontraron inhibiciones similares en la mejora de la fuerza cuando el entrenamiento fue realizado simultáneamente con el de resistencia (Henessy y Watson, 1994; Kraemer et al., 1995).

En nuestro laboratorio hemos verificado que en sentadilla completa la carga movilizada a  $0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  corresponde aproximadamente con el 70% 1RM. Por consiguiente, se puede confirmar que en el presente estudio las mejoras en la aplicación de fuerza fueron obtenidas entrenando con cargas inferiores al 70%1RM y sin el uso de repeticiones máximas. Este tipo de entrenamiento utilizado evitaría los riesgos derivados del cálculo directo de 1RM y el empleo de repeticiones hasta el fallo muscular como se produce con el uso de XRM, por lo que esta metodología de entrenamiento, basada en la velocidad de desplazamiento de la carga movilizada como consecuencia de la fuerza aplicada, se podría considerar muy útil para la programación del entrenamiento de la fuerza en deportistas, y especialmente en jugadores de fútbol con poca experiencia previa en el entrenamiento de la fuerza. Por tanto y a partir de los datos obtenidos en este estudio, ha podido verificarse que el uso de cargas externas determinadas por la velocidad a la que son desplazadas, sin necesidad de calcular 1RM ni utilizar XRM como se propone en numerosos estudios (Wisloff et al., 1998; Hoff y Helgerud, 2004; Wisloff et al., 2004; Jullien et al., 2008; Ronnestad et al., 2008), es una adecuada metodología de trabajo para la mejora de la aplicación de fuerza en jugadores de fútbol sub-19.

En relación a la capacidad de aceleración de los jugadores, el equipo A descendió significativamente ( $p \leq 0.05-0.001$ ) su rendimiento después del periodo de estudio en todas las distancias evaluadas excepto en T<sub>10</sub> (descenso del 1.6% para T<sub>10</sub>, 2.3% para T<sub>20</sub> y T<sub>30</sub>, 3.2% para T<sub>10-20</sub>, 3.3% para T<sub>10-30</sub> y 2.6% para T<sub>20-30</sub>). El equipo B



*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

mejoró en T<sub>10</sub> (1.6%), T<sub>20</sub> (1%), T<sub>30</sub> (1%), T<sub>10-30</sub> (1%) y T<sub>20-30</sub> (1%), pero esta mejora fue significativa ( $p \leq 0.05$ ) sólo en el parcial T<sub>20-30</sub>. Aunque hay que ser cautelosos al comparar los resultados debido a las diferentes superficies sobre las que se efectuaron las mediciones, ambos equipos mostraron rendimiento similar al mostrado previamente en jugadores sub-19 en 10 m (1.87 s) (Helgerud et al., 2001; Chamari et al., 2004), 20 m (3.1 s) (Meckel et al., 2009) y 30 m (4.38 s) (Chamari et al., 2004).

Al comparar los datos de aceleración en E<sub>1</sub>, el equipo A obtuvo mejores resultados en todos los parciales medidos. Estos resultados llegaron a ser diferentes estadísticamente ( $p \leq 0,05$ ) en T<sub>10</sub>, T<sub>30</sub>, T<sub>10-30</sub> y T<sub>20-30</sub>. Sin embargo, en E<sub>2</sub> el equipo A empeoró estadísticamente su capacidad de aceleración en los parciales T<sub>20</sub>, T<sub>30</sub>, T<sub>10-20</sub> y T<sub>10-30</sub>, mientras que el B mejoró en todas las distancias, siendo la mejora significativa en T<sub>20-30</sub> ( $p \leq 0.05$ ). Tras aplicar el análisis de covarianza en E<sub>2</sub>, el equipo B mejoró más que el A en todos los parciales evaluados. La gran cantidad de trabajo aeróbico acumulado por los jugadores del equipo A en su entrenamiento podría explicar estos cambios. Sin embargo, el equipo B solo dedicó una pequeña parte del entrenamiento semanal a la mejora de esta cualidad (Tabla 1.3), lo que podría explicar un menor efecto de interferencia sobre la capacidad de aceleración.

El entrenamiento del equipo A (Tabla 1.2) para la mejora de la aceleración incluyó salidas con trineos lastrados, desplazamientos con cargas, y desplazamientos en saltos de segundo de triple. Estudios previos han mostrado que el trabajo de carrera resistida con trineos ha producido mejoras en la capacidad de aceleración (Lockie et al., 2003). Este ejercicio, igual que los desplazamientos con cargas y los saltos de segundo de triple, son efectuados por medio de acciones motrices unilaterales implicando a la musculatura del tren inferior que interviene en los desplazamientos horizontales. Esta similitud con la ejecución de un esprint podría favorecer la transferencia pretendida con estos ejercicios y con el entrenamiento de fuerza efectuado por el equipo A para la mejora de la aceleración (Young, 2006). Aunque esta transferencia era esperada, el estímulo presentado y llevado a cabo por los jugadores a través de esos ejercicios y el entrenamiento específico de fuerza no fue suficiente para la mejora de esa capacidad. Aunque los jugadores del

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

equipo A mejoraron la capacidad de aplicar fuerza con el tren inferior (Tabla 1.5), esta mejora no fue acompañada por un incremento en su aceleración, lo cual si fue conseguido con anterioridad en una intervención con jugadores de fútbol profesionales (Rønnestad et al., 2008). En esta intervención durante siete semanas de pretemporada, la mejora de la fuerza del tren inferior del grupo experimental fue acompañada de significativas mejoras en la capacidad de aceleración, mejoras que no se apreciaron en el grupo control. Sin embargo, con jugadores de fútbol sub-19 después de 11 semanas de entrenamiento de la fuerza durante el periodo competitivo de la temporada, la capacidad de aceleración de los jugadores no cambió (Gorostiaga et al., 2004). Estos dos estudios reflejan la importancia de considerar el momento de la intervención. El estudio de Rønnestad et al. (2008), fue efectuado durante la pretemporada, con una amplia mejora en todas las variables medidas después del periodo de descanso de los jugadores, al inicio de la intervención. Los datos del presente estudio, al igual que los de Gorostiaga et al., (2004) fueron efectuados durante el periodo competitivo.

Como se ha comentado el elevado volumen de trabajo de resistencia del equipo A pudo ser responsable de inhibir parte de las adaptaciones relacionadas con la mejora de la aplicación de fuerza de los jugadores en acciones realizadas a muy alta velocidad. Por tanto, la mejora de la capacidad de aceleración pretendida por medio de la combinación del entrenamiento con cargas externas, los esprints con trineos lastrados y los desplazamientos de segundo de triple pudo verse también comprometida. Sin embargo, el entrenamiento del equipo B, que dedicó menos tiempo a entrenar la capacidad de aceleración, pero también efectuó menos entrenamiento aeróbico, y el que efectuó fue de menor intensidad, fue efectivo para la mejora de esta cualidad. La menor interferencia entre el entrenamiento de resistencia y el de fuerza probablemente permitió al equipo B mejorar esta cualidad.

El tiempo dedicado por cada equipo en desarrollo de su rendimiento condicional (Tabla 1.4), pudo verse reflejado en los cambios de la potencia aeróbica de los jugadores evaluados. La potencia aeróbica del equipo A, medida por medio de la velocidad aeróbica máxima (VAM), mejoró significativamente ( $p \leq 0.01$ ),

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

incrementándose de 16.39 a 16.91 km·h<sup>-1</sup>. Después de las 16 semanas de entrenamiento y competición, la mejora de este equipo fue significativamente mayor que la del equipo B. Éste empeoró su VAM aunque no significativamente, descendiendo de 15.72 a 15.66 km·h<sup>-1</sup>. Los resultados obtenidos por el equipo A son similares a los obtenidos con jugadores de fútbol profesionales (17.1 km·h<sup>-1</sup>) tras la aplicación del mismo protocolo (Dellal et al., 2008), lo que podría interpretarse como un buen rendimiento de los jugadores de este equipo en esta cualidad. El número de sesiones realizadas por este equipo y la orientación de los ejercicios efectuados durante las mismas en el periodo de estudio pudo ser la responsable de la mejora de esta cualidad. El equipo A efectuó entrenamientos de carrera y situaciones de juego reducidas de alta intensidad de cuatro-seis minutos de duración, que con anterioridad han mostrado ser efectivas para la mejora del consumo máximo de oxígeno (Chamari et al., 2005; Helgerud et al., 2001; Mc Millan et al., 2005). No obstante, las mejoras obtenidas (3.2%) en nuestro estudio fueron inferiores (10.8%) a las obtenidas en otro estudio (Helgerud et al., 2001) con jugadores de la misma edad. Estas diferencias podrían venir explicadas por el momento en el que se efectuaron los entrenamientos y las medidas de los resultados en ambos estudios. En nuestro caso se comenzó el entrenamiento y se valoró inicialmente la VAM después de seis semanas de entrenamiento, lo que podría haber provocado una mejora del rendimiento en esta cualidad antes de iniciar el tratamiento, mientras que en el estudio mencionado se hizo desde el inicio de la pretemporada, partiendo de una condición física inicial probablemente menor que en nuestro caso.

El equipo B efectuó menos sesiones de entrenamiento condicional (Tabla 1.4). Estas sesiones se centraron en trabajo de carrera y situaciones de juego reducido de moderada-baja intensidad. Este entrenamiento podría explicar el ligero descenso en la VAM encontrado en la segunda evaluación. Por contra, parece tener menos interferencia con el desarrollo de cualidades cuya base sea la aplicación de fuerza a elevadas velocidades de contracción, como previamente ha sido observado (Docherty y Sporer, 2000).

*Estudio 1. Efecto de cuatro meses de entrenamiento en la potencia aeróbica, la fuerza y la aceleración en dos equipos de fútbol sub-19*

En estudios previos se ha encontrado relación entre el rendimiento condicional con la posición final en la tabla clasificatoria tras una competición de larga duración (Wisloff et al., 1988; Arnason et al., 2004). En base a estos resultados, el equipo A podría estar mejor preparado que el equipo B en E<sub>1</sub> para hacer frente a las demandas exigidas por la competición. Esta afirmación puede deducirse a partir del superior rendimiento físico encontrado en todos los tests por parte del equipo A. En dos equipos noruegos de primera división el VO<sub>2max</sub> y la fuerza máxima en media sentadilla mostraron significativas diferencias en favor de los equipos mejor clasificados (Wisloff et al., 1988). Arnason et al. (2004) encontraron similares resultados al comparar a los jugadores de los equipos mejor clasificados con los peor clasificados de las dos mejores ligas islandesas. En este estudio, encontraron diferencias significativas en VO<sub>2max</sub> y una significativa correlación entre la altura media de salto en CMJ y el rendimiento en media sentadilla con la posición final en la tabla clasificatoria ( $p \leq 0.01$  y  $p \leq 0.05$ , respectivamente).

Aunque la clasificación final podría depender de múltiples factores, en el presente estudio el equipo A mostró mayor capacidad de aplicar fuerza, capacidad de aceleración y potencia aeróbica, y consiguió una mejor clasificación que el equipo B. A lo largo de los cuatro meses que comprendió el periodo de estudio, ambos equipos jugaron 16 partidos oficiales de liga completando la primera vuelta de su liga regular. Mientras que el equipo A consiguió 28 puntos, el equipo B consiguió 14 de los 48 posibles, ocupando una posición de descenso de categoría. Tras las siguientes 16 semanas competitivas, el equipo A mantuvo su posición acabando en 6º lugar al conseguir 27 de los 48 puntos posibles, mientras que el equipo B descendió. Futuros estudios longitudinales de larga duración y con un mayor número de equipos participantes podrían ayudar en la interpretación de las adaptaciones que diferentes tipos de entrenamiento producen en el rendimiento físico de jugadores de fútbol durante una temporada. Estos estudios también podrían ayudar en la interpretación de la posible relación existente entre rendimiento físico y el resultado en competición de diferentes equipos con similares demandas competitivas.

#### **4.5 Conclusiones.**

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que el entrenamiento de fuerza complementario realizado en función de la velocidad de desplazamiento de la carga en sentadilla puede mejorar los niveles de aplicación de fuerza en jugadores de fútbol. Además, la velocidad puede ser empleada para el control y la individualización de las cargas del entrenamiento de fuerza. Si bien esta metodología permite mejoras en la fuerza del jugador, en nuestro caso se ha observado una probable interferencia en el desarrollo de la fuerza y la aceleración debido al alto volumen de entrenamiento aeróbico aplicado.

#### **4.6 Aplicaciones prácticas.**

El empleo de la la velocidad para el control y la individualización de las cargas del entrenamiento de fuerza supone una metodología que permite evitar tanto los problemas metodológicos que su determinación implica, como los riesgos que la determinación y el uso de 1RM-XRM conllevan en sujetos con poca experiencia en el entrenamiento de fuerza. Junto con esta alternativa al entrenamiento tradicional, los resultados de nuestro estudio sugieren que sería conveniente controlar la cantidad de trabajo aeróbico realizado por los jugadores con el fin de evitar posibles efectos negativos sobre las cualidades de aceleración principalmente.

## **5. Estudio 2**

### **Publicación 2**

**Changes in strength and aerobic performance by concurrent training in under-19 soccer players**

**Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19**

### **5.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación.**

Las mejoras de la resistencia (Helgerud et al., 2001; Chamari et al., 2005; McMillan et al., 2005) o la fuerza (Jullien et al., 2008; Sander et al., 2013) del jugador de fútbol han sido analizadas en diferentes estudios, mientras que el efecto del entrenamiento de ambas cualidades entrenadas simultáneamente ha sido menos analizado (Gorostiaga et al., 2004). Además, no hemos encontrado estudios en los que se haya registrado la intensidad del esfuerzo en entrenamiento y competición por medio de la frecuencia cardiaca, ni intervenciones en las que el entrenamiento de fuerza se haya llevado a cabo con cargas ligeras prescritas en función de la velocidad de desplazamiento en el ejercicio de sentadilla completa sin la necesidad de la medición ni el empleo de repeticiones máximas. Por lo tanto, ante la dificultad de entrenar y desarrollar la fuerza y la resistencia de manera simultánea (Docherty y Sporer, 2000), junto con la necesidad de mejorar ambas cualidades para el rendimiento del futbolista, como se ha justificado con anterioridad, nos planteamos los siguientes problemas:

#### **Problema 1**

¿Cuál es el efecto de cuatro meses de entrenamiento simultáneo de fuerza y resistencia sobre la capacidad de salto, aceleración y velocidad aeróbica máxima de jugadores de fútbol de categoría sub-19 de la División de Honor española?

#### **Problema 2**

¿Cuál es la relación entre la frecuencia cardiaca media de entrenamiento y competición durante 18 semanas y el rendimiento en fuerza, aceleración y resistencia de jugadores de fútbol de categoría sub-19 de la División de Honor española?

#### **Problema 3**

¿Cuál es la relación entre los cambios ocurridos durante 18 semanas de entrenamiento en las variables de fuerza velocidad y resistencia de jugadores de fútbol de categoría sub-19 de la División de Honor española?

## **Objetivos**

### **Objetivo 1**

Comprobar el efecto de cuatro meses de entrenamiento simultáneo de fuerza y resistencia sobre la capacidad de salto, aceleración y velocidad aeróbica máxima.

### **Objetivo 2**

Comprobar la relación entre los cambios en las variables de fuerza velocidad y resistencia tras 10 y 8 semanas de entrenamiento.

### **Objetivo 3**

Comprobar la relación entre la frecuencia cardiaca media de entrenamiento y competición durante 18 semanas y el rendimiento en fuerza, aceleración y resistencia.

## **Hipótesis**

La utilización de cargas máximas próximas a 1-3RM ha mostrado tener un efecto positivo en la mejora de la fuerza y la capacidad de salto (Chamari et al., 2004; Ronnestad et al., 2008; Sander et al., 2013). Sin embargo, la determinación y utilización de este tipo de cargas conlleva inconvenientes relacionados con el riesgo de lesión y la fiabilidad de la medida (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010), así como la necesidad de realizar los movimientos a baja velocidad absoluta. Probablemente estos inconvenientes se evitarían con la aplicación de cargas ligeras y moderadas desplazadas a la máxima velocidad posible. Además, el entrenamiento de fuerza con cargas ligeras ha mostrado ser efectivo para la mejora del sprint (Kraemer y Ratamess, 2004), posiblemente debido al incremento de la actividad neural de las unidades motoras reclutadas de la musculatura entrenada (Häkkinen y Komi, 1985). En un estudio previo se ha observado una correlación significativa entre los cambios en la altura del salto y los cambios en el tiempo en 5 m y 15 m ( $r = 0.86-0.92$ ,  $p \leq 0.05-0.01$ ) tras 11 semanas de entrenamiento con cargas ligeras (Gorostiaga et al., 2004). Por tanto, es probable que la realización de un entrenamiento de fuerza con cargas ligeras que producen una baja fatiga y que pueden desplazarse a alta velocidad absoluta, además de



*Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19*

mejorar la fuerza de las piernas (Gorostiaga et al., 2004) produzca cambios concomitantes entre la fuerza de las piernas, la aceleración, el salto y la resistencia. Por tanto, se plantearon las siguientes hipótesis:

**Hipótesis 1**

El entrenamiento simultáneo de resistencia y fuerza, en el que el entrenamiento de fuerza se realiza con cargas ligeras y moderadas desplazadas a la máxima velocidad posible, produce mejoras en la capacidad de salto, aceleración y velocidad aeróbica máxima en jugadores de fútbol sub-19.

**Hipótesis 2**

Los cambios en la fuerza de las piernas, la aceleración, el salto y la resistencia experimentados entre un test inicial y un post test después de 18 semanas de entrenamiento presentan relación significativa.

La frecuencia cardiaca es una variable indicativa del esfuerzo del jugador y su fiabilidad y validez como variable fisiológica representativa de la intensidad del esfuerzo realizado ha sido probada (Hoff et al., 2002; Impellizzeri et al., 2005). Esta variable ha sido empleada como indicador de la contribución de la energía aeróbica tanto en partidos como en entrenamientos (Dellal et al., 2012). Se ha observado que el tiempo de entrenamiento en distintas zonas de intensidad, determinadas en función de la frecuencia cardiaca máxima, presenta relación con las mejoras en el  $VO_{2max}$  del futbolista (Helgerud et al., 2001; McMillan et al., 2005). Por tanto es probable que la frecuencia media alcanzada en determinadas zonas de intensidad a lo largo de 18 semanas de entrenamiento y competición explique cambios en el rendimiento físico de los jugadores. Basándonos en estos hallazgos previos, nos planteamos la siguiente hipótesis:

**Hipótesis 3**

La frecuencia cardiaca media de entrenamiento y competición durante 18 semanas presenta relación significativa con el rendimiento en fuerza, aceleración y resistencia.

## **5.2 Metodología.**

### **5.2.1 Tipo de investigación.**

Se efectuó un diseño cuasi-experimental con evaluación inicial ( $E_1$ ), intermedia ( $E_2$ ) diez semanas después y final ( $E_3$ ) ocho semanas más tarde. La variable independiente fue el entrenamiento realizado por el equipo estudiado, mientras que las dependientes fueron la altura de salto vertical, la velocidad desplazamiento de la barra del multipower en sentadilla completa en un test progresivo con cargas, la capacidad de aceleración en 10 m, 20 m y 30 m y la velocidad aeróbica máxima de los jugadores. Para evaluar la influencia del esfuerzo cardiovascular en los cambios de estas variables se registró como variable dependiente la frecuencia cardiaca de los jugadores en entrenamientos y partidos, con la finalidad de obtener un indicador individual de carga de entrenamiento y el número de minutos acumulados a diferentes porcentajes de la frecuencia cardiaca de cada jugador. Solo los datos de aquellos jugadores que efectuaron las tres evaluaciones y que además completaron el 85% de las sesiones de entrenamiento durante el periodo de estudio fueron tenidos en cuenta para el análisis estadístico. Todas las evaluaciones se efectuaron en tres semanas consecutivas, tras una sesión de entrenamiento de recuperación y al menos 48 h después del último partido.

### **5.2.2 Muestra.**

Participaron voluntariamente en el estudio 19 jugadores ( $18.25 \pm 0.6$  años de edad,  $74.4 \pm 8.2$  kg de peso y  $179.5 \pm 6.8$  cm de altura) de campo pertenecientes a un equipo juvenil (sub-19) que compitió en el Grupo VII de la División de Honor española. Los sujetos recibieron información sobre las características, objetivos y procedimientos del mismo. Todos los jugadores participantes firmaron su consentimiento por escrito, salvo los menores de edad que presentaron el consentimiento firmado por uno de sus padres.

### **5.2.3 Procedimientos.**

En este estudio se realizaron los mismos procedimientos descritos en el Estudio 1 para la medición de la fuerza, la aceleración y la velocidad aeróbica máxima. Además, el equipo que participó en este estudio es el equipo A del Estudio 1, por lo

*Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19*

que las características del entrenamiento realizado son las ya especificadas (Tablas 1.1 y 1.2).

Registro de frecuencia cardiaca en entrenamiento y competición.

La frecuencia cardiaca de los jugadores fue registrada teleméricamente cada segundo (Suunto Team, Suunto Oy, Finlandia) en todos los entrenamientos y partidos a lo largo del periodo de estudio. Para el empleo de las cintas de registro en competición se consiguió permiso de la Real Federación Española de Fútbol. La frecuencia cardiaca individual fue analizada para obtener el tiempo que cada jugador estuvo en determinados intervalos de la frecuencia cardiaca máxima (FCM). El valor de la FCM de cada jugador fue el máximo registro de frecuencia cardiaca obtenido en tres ocasiones diferentes ya fuese en entrenamiento, competición o test realizado durante el periodo de estudio. Los intervalos de frecuencia cardiaca utilizados fueron: <70%, 70-<75%, 70-<80%, 80-<85%, 85-<90%, 90-<95% y  $\geq 95\%$ . La suma del tiempo total de trabajo a estas diferentes intensidades de cada jugador en entrenamiento y competición se registró como tiempo total (TT) de trabajo en campo. Además, para obtener un indicador de carga (IC) de cada futbolista se utilizó el método propuesto por Edwards (1983) multiplicando por un valor predeterminado la suma de minutos registrados en cada intervalo de intensidad de frecuencia cardiaca. El tiempo en los siguientes intervalos se multiplicó por 1 (50%-<60% de la frecuencia cardiaca máxima), por 2 (60%-<70%), por 3 (70%-<80%), por 4 (80%-<90%), por 5 (90%-  $\leq 100\%$ ).

5.2.4 Análisis estadístico.

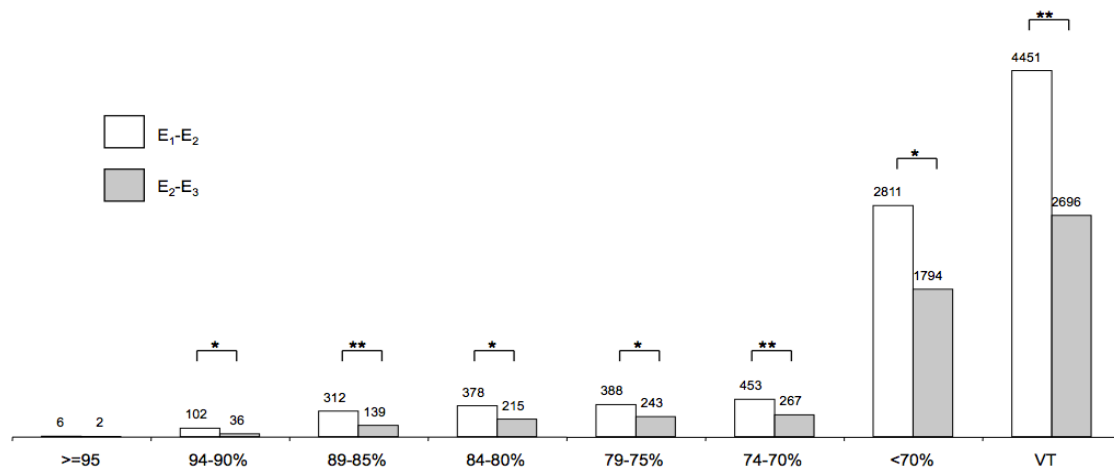
Los datos son presentados como medias y desviaciones estándar (DE). La distribución de cada variable fue examinada mediante la prueba de normalidad Shapiro-Wilk y la homogeneidad de la varianza por medio del test de Levene. Se aplicó un ANOVA de medidas repetidas con ajuste de Bonferroni para comprobar las diferencias entre los tres tests realizados. La correlación entre cambios en las diferentes variables fue calculada mediante el coeficiente de correlación de Pearson  $r$ . Se consideró un nivel alfa  $p \leq 0.05$ . Se calculó el tamaño del efecto de

Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19

Cohen. Se consideró un tamaño  $\leq 0.3$  como pequeño, entre 0.3-0.7 moderado y  $\geq 0.7$  grande (Atkinson y Nevill, 1998). El paquete estadístico utilizado fue SPSS 15.0.

### 5.3 Resultados.

Los jugadores efectuaron un volumen total de entrenamiento y competición (TT) de 4450 minutos entre la primera ( $E_1$ ) y la segunda evaluación ( $E_2$ ), y de 2695 entre  $E_2$  y la final ( $E_3$ ). La Figura 2.1 muestra la media semanal de minutos de entrenamiento y competición a diferentes intensidades de la frecuencia cardiaca máxima de los jugadores en ambos periodos de estudio.



**Figura 2.1** Distribución semanal de minutos de entrenamiento y competición a diferentes intensidades de la frecuencia cardiaca máxima de los jugadores. \* $p \leq 0.05$ ; \*\*  $p \leq 0.01$ ;  $E_1-E_2$  = periodo comprendido entre la primera y la segunda evaluación;  $E_2-E_3$  = periodo entre la segunda y la tercera evaluación; VT= volumen total de entrenamiento).

La Tabla 2.1 muestra los resultados de las evaluaciones del rendimiento físico efectuadas. Los cambios observados en CMJ y CMJ<sub>30</sub> no fueron significativos durante el periodo de estudio. Sin embargo en  $E_2$  las mejoras en CMJ<sub>20</sub> fueron significativas ( $p \leq 0.01$ ) con respecto a  $E_1$ , mientras que en  $E_3$  hubo una ligera pérdida de rendimiento no significativa en esta variable. Ambos cambios mostraron tamaños de efecto moderado (0.69-0.24).

**Tabla 2.1** Resultados de las evaluaciones del rendimiento físico efectuadas en la evaluación inicial (E<sub>1</sub>), intermedia (E<sub>2</sub>), y final (E<sub>3</sub>) (media ± DE)

	E <sub>1</sub>	E <sub>2</sub>	E <sub>3</sub>	Tamaño del efecto ( <i>d</i> )		
				E <sub>1</sub> E <sub>2</sub>	E <sub>2</sub> E <sub>3</sub>	E <sub>1</sub> E <sub>3</sub>
CMJ <sub>(cm)</sub> <i>n</i> =12	35.4 ± 5.4	37.01 ± 4.2	34.3 ± 4.7	0.33	0.61	0.22
CMJ <sub>20 (cm)</sub> <i>n</i> =12	22.63 ± 3.8	25.13 ± 3.4**	24.28 ± 3.6	0.69	0.24	0.45
CMJ <sub>30 (cm)</sub> <i>n</i> =7	21.7 ± 2.2	23.67 ± 2.6	23.2 ± 2.7	0.82	0.18	0.61
SC <sub>20 (m.s<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =13	1.37 ± 0.1	1.46 ± 0.1	1.45 ± 0.1	0.90	0.1	0.8
SC <sub>30 (m.s<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =13	1.28 ± 0.12	1.36 ± 0.11***	1.36 ± 0.1**	0.69	0	0.72
SC <sub>40 (m.s<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =13	1.16 ± 0.1	1.24 ± 0.1***	1.22 ± 0.1*	0.80	0.2	0.6
SC <sub>50 (m.s<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =12	1.06 ± 0.1	1.1 ± 0.12	1.1 ± 0.1	0.36	0	0.4
SC <sub>60 (m.s<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =13	0.89 ± 0.2	0.95 ± 0.1	0.93 ± 0.1	0.38	0.2	0.25
SC <sub>70 (m.s<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =8	0.82 ± 0.1	0.88 ± 0.1	0.85 ± 0.1	0.60	0.3	0.3
SC <sub>80 (m.s<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =6	0.7 ± 0.1	0.82 ± 0.1*	0.79 ± 0.1	1.2	0.3	0.9
T <sub>10 (s)</sub> <i>n</i> =12	1.83 ± 0.07	1.86 ± 0.08*	1.86 ± 0.1	0.4	0	0.35
T <sub>20 (s)</sub> <i>n</i> =12	3.09 ± 0.11	3.13 ± 0.12*	3.16 ± 0.1*	0.35	0.27	0.67
T <sub>30 (s)</sub> <i>n</i> =12	4.26 ± 0.16	4.33 ± 0.17***	4.36 ± 0.19**	0.42	0.17	0.57
T <sub>10-20 (s)</sub> <i>n</i> =12	1.24 ± 0.06	1.25 ± 0.06	1.28 ± 0.05**	0.17	0.54	0.72
T <sub>10-30 (s)</sub> <i>n</i> =12	2.41 ± 0.1	2.44 ± 0.1*	2.49 ± 0.1*** #	0.30	0.5	0.8
T <sub>20-30 (s)</sub> <i>n</i> =12	1.16 ± 0.05	1.18 ± 0.05	1.19 ± 0.05	0.40	0.2	0.6
VAM <sub>(km.h<sup>-1</sup>)</sub> <i>n</i> =13	16.4 ± 1.17	16.9 ± 1.11	16.9 ± 0.9*	0.46	0.02	0.53

Mayor que E<sub>1</sub> (\**p* ≤ 0.05; \*\**p* ≤ 0.01; \*\*\**p* ≤ 0.001). Mayor que E<sub>2</sub> (#*p* ≤ 0.05). CMJ= Salto con contramovimiento; CMJ<sub>20</sub>= Salto con carga 20 kg; CMJ<sub>30</sub>= Salto con carga 30 kg; SC<sub>20</sub>= Sentadilla completa con 20 kg (significado equivalente en el resto de los casos); T<sub>10</sub>= Tiempo en 10 m; T<sub>20</sub>= Tiempo en 20 m; T<sub>30</sub>= Tiempo en 30 m; T<sub>10-20</sub>= Tiempo en parcial 10-20 m; T<sub>10-30</sub>= Tiempo en parcial 10-30 m; T<sub>20-30</sub>= Tiempo en parcial 20-30 m; VAM= Velocidad aeróbica máxima.

En cuanto a la velocidad media de desplazamiento en sentadilla completa, ésta mejoró en la segunda evaluación con todas las cargas empleadas. Estas mejoras fueron significativas para SC<sub>80</sub> (*p* ≤ 0.05), SC<sub>40</sub> y SC<sub>30</sub> (*p* ≤ 0.001), con tamaños de efecto grande (SC<sub>40</sub> y SC<sub>80</sub>) y moderado (SC<sub>30</sub>). En la evaluación final las mejoras fueron significativas (*p* ≤ 0.05) en SC<sub>30</sub> y SC<sub>40</sub> con respecto a la evaluación inicial,

*Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19*

mostrando tamaños de efecto grande (0.72) y moderado (0.6) respectivamente. Al comparar E<sub>3</sub> con E<sub>2</sub> no se observó ningún cambio significativo en las diferentes cargas.

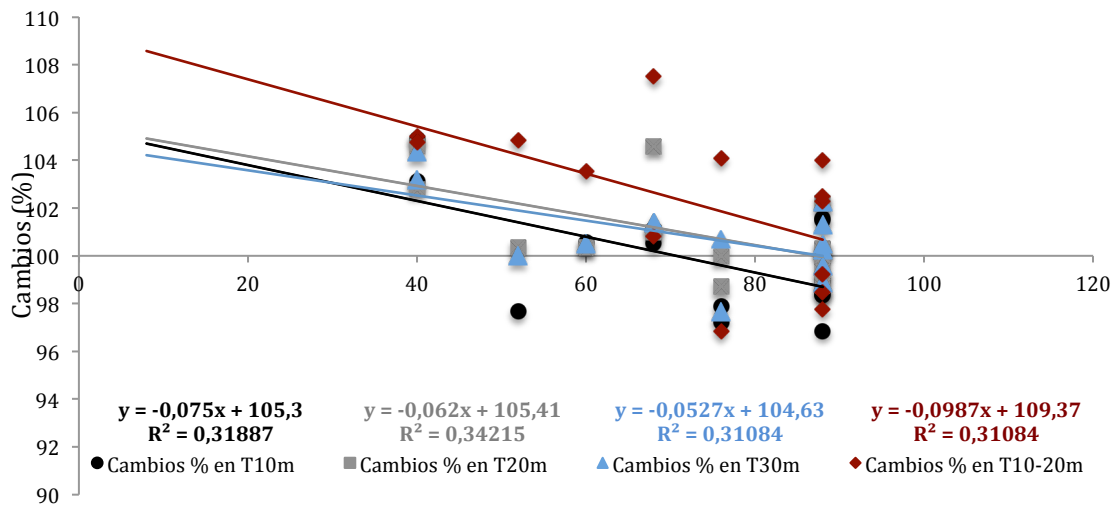
Las variables T<sub>10</sub>, T<sub>20</sub>, T<sub>10-30</sub> ( $p \leq 0.05$ ) y T<sub>30</sub> ( $p \leq 0.001$ ) mostraron descensos significativos con tamaños de efecto moderado (0.3-0.42) al comparar E<sub>2</sub> con E<sub>1</sub>. En el segundo parcial de estudio (E<sub>3</sub> - E<sub>2</sub>) los cambios fueron significativos ( $p \leq 0.05$ ) en T<sub>10-30</sub>. En la comparación entre E<sub>3</sub> y E<sub>1</sub>, los jugadores mostraron un descenso en el rendimiento en todos los parciales medidos. Estos descensos fueron significativos en T<sub>20</sub> ( $p \leq 0.05$ ), T<sub>30</sub> y T<sub>10-20</sub> ( $p \leq 0.01$ ) y T<sub>10-30</sub> ( $p \leq 0.001$ ), con tamaños de efecto moderado (T<sub>20</sub> y T<sub>30</sub>) y grande (T<sub>10-20</sub> y T<sub>10-30</sub>).

La velocidad aeróbica máxima (VAM) se incrementó durante el periodo de estudio mostrando cambios no significativos entre E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub>, mientras que en E<sub>3</sub> la mejora fue significativa y de tamaño de efecto moderado (0.53) al compararse con E<sub>1</sub> ( $p \leq 0.05$ ).

Entre el periodo E<sub>2</sub>-E<sub>3</sub>, se encontraron las siguientes correlaciones entre los cambios en las variables estudiadas: a) se observó correlación negativa significativa entre los cambios (%) producidos en SC<sub>60</sub> y en las variables T<sub>30</sub> y T<sub>10-30</sub> ( $r = -0.531$  y  $r = -0.642$ , respectivamente;  $p \leq 0.05$ ); b) el número de repeticiones de sentadilla completa presentó correlación negativa significativa con los cambios (%) en T<sub>10</sub>, T<sub>20</sub>, T<sub>30</sub> y T<sub>10-20</sub> ( $r = -0.564$ ,  $r = -0.585$ ,  $r = -0.557$  y  $r = -0.558$ , respectivamente;  $p \leq 0.05$ ) (Figura 2.2); c) los cambios en T<sub>20</sub>, T<sub>30</sub> y T<sub>10-20</sub> presentaron correlación negativa significativa con el número de saltos sin carga ( $r = -0.532$ ,  $r = -0.532$  y  $r = -0.564$ , respectivamente;  $p \leq 0.05$ ); y d) el número de saltos con carga (CMJ<sub>c</sub>) presentó correlación negativa significativa con los cambios en T<sub>20</sub> y T<sub>10-20</sub> ( $r = -0.542$  y  $r = -0.557$ , respectivamente,  $p \leq 0.05$ ).

Ninguna relación se encontró entre los indicadores de carga (IC) obtenidos a partir de los registros de frecuencia cardiaca del jugador y los cambios en las variables medidas.

Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19



**Figura 2.2** Correlación entre el número de sentadillas realizadas y los cambios producidos en T<sub>10</sub>, T<sub>20</sub>, T<sub>30</sub> y T<sub>10-20</sub>.

#### 5.4 Discusión.

Durante el primer periodo de estudio (E<sub>1</sub>-E<sub>2</sub>) los jugadores mejoraron su fuerza como mostraron tanto los cambios en la capacidad de salto, como la velocidad de desplazamiento de la barra del multipower en sentadilla completa (Tabla 2.1). La capacidad de salto con carga (CMJ<sub>20</sub>) incrementó significativamente ( $p \leq 0.01$ ) y fue acompañada por mejoras en la velocidad de desplazamiento de la barra del multipower con todas las cargas medidas. Al igual que en el Estudio 1, estas mejoras pudieron deberse al tipo de entrenamiento de fuerza efectuado, que consistió en dos sesiones de entrenamiento semanales realizadas con cargas ligeras y medias movilizadas a la máxima velocidad posible. Estos resultados son similares a los encontrados en estudios previos que también utilizaron este tipo de cargas con jugadores de rugby (McBride et al., 2002) y de fútbol (Gorostiaga et al., 2004). Las adaptaciones de tipo neural que ha mostrado este tipo de entrenamiento (mayor sincronización de unidades motoras, incremento y cambios en el patrón del número de unidades reclutadas) (Behm y Sale, 1993) podrían explicar la mejora de la fuerza de los futbolistas. Además, la elevada velocidad a la que se movilizaron las cargas ha mostrado producir cambios específicos en la activación muscular, siendo estos cambios más efectivos para las adaptaciones relacionadas con las mejoras de fuerza, potencia y velocidad, que los obtenidos con

*Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19*

el entrenamiento con cargas elevadas a inferiores velocidades de contracción (Delecluse et al., 1985; McBride et al., 2002).

Durante el segundo periodo de estudio (E<sub>2</sub>-E<sub>3</sub>), tanto las mejoras en el salto como los cambios en la velocidad de desplazamiento en sentadilla completa fueron mínimos, estabilizándose el rendimiento. En este periodo se mantuvo el volumen semanal de saltos con carga, aumentó ligeramente el número de saltos sin carga y se produjo un claro descenso del número de repeticiones (20 vs 13) por semana en media sentadilla y sentadilla completa efectuadas a la misma velocidad ( $\approx 59\%$  de 1RM) que en el periodo anterior. Este descenso del volumen de entrenamiento, junto con el mantenimiento prolongado de los mismos ejercicios durante todo el ciclo de entrenamiento, podrían explicar la estabilización del rendimiento en el segundo periodo.

Al igual que estudios previos con jugadores de rugby (Comfort et al., 2012) y jugadores de fútbol (Rønnestad et al., 2008; Chelly et al., 2009;), con la mejora conseguida en la fuerza cabría esperar una mejora en la capacidad de aceleración debido a la importancia en ambas acciones de la producción de fuerza concéntrica de la musculatura extensora de cadera, rodilla y tobillo (Hunter et al., 2005). Sin embargo, entre E<sub>1</sub> y E<sub>2</sub> el rendimiento empeoró (0.8-1.7%) en todos los parciales de aceleración medidos y entre E<sub>1</sub>-E<sub>3</sub> este empeoramiento fue solo significativo en el parcial T<sub>10-30</sub>. Una posible explicación podría fundamentarse en la interferencia encontrada al entrenar simultáneamente la resistencia y la fuerza, aunque según el modelo propuesto por Docherty y Sporer (2000), el entrenamiento de fuerza efectuado por los jugadores en el presente estudio induciría menor interferencia ya que el estímulo de entrenamiento se centra en adaptaciones neurales con pocas demandas metabólicas. El entrenamiento simultáneo de fuerza y resistencia ha sido ampliamente estudiado y ha sido establecido que las adaptaciones inducidas por este entrenamiento son opuestas (Leveritt et al., 1999; Bell et al., 2000). El entrenamiento de resistencia produce un aumento de la densidad capilar (Klausen et al., 1981), aumento de volumen y densidad mitocondria (Hoppeler, 1986), el aumento de la actividad enzimática oxidativa (Schantz et al., 1983) y el descenso del tamaño de la fibra muscular (Terrados, 1986), mientras que las adaptaciones



*Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19*

provocadas por el entrenamiento de fuerza han mostrado un descenso de la densidad y el volumen mitocondrial y capilar (MacDougall et al., 1982; Tesch et al., 1985). También se han encontrado interferencias en ejercicios en los que la aplicación de fuerza se efectúa a altas velocidades de contracción muscular (Kraemer et al., 1995; Hakkinen et al., 2003), cuando el entrenamiento de ambas cualidades es efectuado en el mismo día sin descanso entre ambas (Sale et al., 1990) y cuando la frecuencia semanal de entrenamiento es elevada (Hakkinen et al., 2003). En el presente estudio, los jugadores efectuaron el entrenamiento de fuerza con cargas medias y ligeras a altas velocidades de contracción muscular, justo antes de los entrenamientos en campo, y efectuaron más de seis sesiones semanales (cuatro en campo, dos de entrenamiento de fuerza, y un partido). Además, la interferencia es más pronunciada cuando la musculatura empleada y el tipo de contracción muscular en ambos entrenamientos es similar (Gergley, 2009). Todos estos factores podrían haber interferido en la ausencia de transferencia de las mejoras de la fuerza de los jugadores sobre su capacidad de aceleración, ya que éstos efectuaron un alto volumen de carrera en el trabajo en campo (Figura 2.1). Como consecuencia, estas posibles interferencias podrían haber causado la mayor pérdida en la capacidad de aceleración en el primer periodo de entrenamiento con respecto al segundo (Tabla 2.1), puesto que el volumen de trabajo semanal efectuado en este periodo fue mayor en todos los intervalos registrados excepto para  $\geq 95\%$  (Figura 2.1).

Durante todo el periodo de estudio ( $E_1$ - $E_3$ ) el entrenamiento de fuerza fue completado en el campo de entrenamiento con aceleraciones con trineos, desplazamientos con cargas y saltos de segundo de triple (Tabla 1.1). El trabajo con trineos lastrados, al igual que los desplazamientos con cargas y los apoyos de segundo de triple, son realizados implicando alternativamente la musculatura del tren inferior para provocar el desplazamiento horizontal. Esta similitud con la realización de un esprint podría favorecer la transferencia buscada con estos ejercicios y con el entrenamiento de fuerza realizado para la mejora de la capacidad de aceleración (Young, 2006). En contra de lo esperado, ni el uso de estos ejercicios, ni las mejoras obtenidas en la aplicación de fuerza de los músculos extensores de cadera, rodilla y tobillo, medidas a través de la altura del salto y la

*Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19*

velocidad de desplazamiento de la barra del multipower, produjeron una mejora en la capacidad de aceleración, como previamente se ha documentado (McBride et al., 2002; Gorostiaga et al., 2004). Otros estudios han mostrado una mejora en la capacidad de aceleración y en la aplicación de fuerza en sentadilla, aunque no se aportó información sobre la relación entre los cambios en esas variables (Rønnestad et al., 2008; Chelly et al., 2009). El hecho de que no existan mejoras en la aceleración podría deberse a la alta proporción de trabajo aeróbico realizado por los sujetos de nuestro estudio y el efecto inhibitor antes comentado. Esta posibilidad no puede ser contrastada con los estudios mencionados anteriormente, puesto que, salvo en el estudio de Gorostiaga et al., (2004), no se hicieron análisis de la relación entre los cambios de las distintas variables. En este último estudio se encontró una relación positiva significativa entre los cambios en el salto con contramovimiento y la capacidad de aceleración ( $r = 0.86-0.92$ ,  $p \leq 0.05-0.01$ ), aunque no fue analizada la posible influencia del entrenamiento aeróbico en el resto de variables.

Aunque pudo interferir en la mejora de la capacidad de aceleración, el alto volumen de trabajo aeróbico efectuado en el periodo de estudio podría ser responsable de las mejoras obtenidas en la velocidad aeróbica máxima de los jugadores (VAM) como se ha mostrado en el estudio anterior. Esta variable mejoró en todas las evaluaciones, siendo los cambios significativos entre E<sub>1</sub> y E<sub>3</sub> ( $p \leq 0.05$ ), sin embargo, el indicador de carga en función de la frecuencia cardiaca propuesto por Edwards (1983) no correlacionó con esos cambios. El empleo de zonas de frecuencia cardiaca establecidas por medio de valores absolutos, sin tener en cuenta los valores de frecuencia cardiaca relacionados con los diferentes umbrales de cada futbolista, podría explicar esa ausencia de relación.

Al analizar los cambios individuales producidos en distintas variables del estudio entre las evaluaciones E<sub>2</sub> y E<sub>3</sub>, se encontró una relación inversa significativa entre los cambios en la variable SC<sub>60</sub> y los cambios en el tiempo en los parciales T<sub>30</sub> y T<sub>10-30</sub> ( $N = 14$ ,  $r = -0.531$ ,  $p \leq 0.05$  y  $N = 12$ ,  $r = -0.676$ ,  $p \leq 0.05$ , respectivamente). Estos resultados sugieren que algunos de los factores determinantes de la mejora en la capacidad de aceleración son comunes a los que determinan la mejora de la

*Estudio 2. Cambios en el rendimiento en fuerza y resistencia como consecuencia de su entrenamiento simultáneo en jugadores de fútbol sub-19*

sentadilla completa con cargas que se desplazan a velocidades próximas a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ . Además, en este segundo periodo de estudio el número de repeticiones realizadas de  $SC_C$  presentó una relación inversa significativa con los cambios en los tiempos en  $T_{10}$  ( $N = 14, r = -0.564, p \leq 0.05$ ),  $T_{20}$  ( $N = 14, r = -0.585, p \leq 0.05$ )  $T_{30}$  ( $N = 14, r = -0.557, p \leq 0.05$ ), y  $T_{10-20}$  ( $N = 14, r = 0.531, p \leq 0.05$ ). El volumen de CMJ también presentó relación inversa significativa con los cambios en los tiempos en  $T_{20}$ ,  $T_{30}$  ( $N = 14, r = -0.532, p \leq 0.05$ , en ambos casos) y  $T_{10-20}$  ( $N = 14, r = -0.564, p \leq 0.05$ ). Por último, el volumen de  $CMJ_C$  presentó relación inversa significativa con los cambios en los tiempos en  $T_{20}$  y  $T_{10-20}$  ( $N = 14, r = -0.531, p \leq 0.05$  y  $N = 14, r = -0.549, p \leq 0.05$ , respectivamente). Estos resultados mostrarían que, tanto las mejoras en la aplicación de fuerza en  $SC_{60}$ , como la cantidad de trabajo de fuerza efectuado (número de repeticiones de media y sentadilla completa, y saltos con/sin carga), dentro de los márgenes de volumen realizados en el presente estudio, podrían estar relacionados con la mejora de la capacidad de aceleración durante el periodo  $E_2$ - $E_3$ . Este incremento como consecuencia de la mejora de la fuerza en sentadilla y salto ha sido justificado por la importancia en ambas acciones de la producción de fuerza concéntrica de la musculatura extensora de cadera, rodilla y tobillo, puesta de manifiesto durante la fase inicial del esprint por medio de la aplicación de grandes fuerzas de reacción sobre el suelo (Hunter et al., 2005). Sin embargo y aunque estudios previos mostraron mejoras en ambas cualidades (aceleración y fuerza en sentadilla) con jugadores de rugby (Comfort et al., 2012) y jugadores de fútbol (Rønnestad et al. 2008; Chelly et al., 2009), no se observó relación entre los cambios producidos en ambas cualidades. El empleo de altas cargas de entrenamiento hasta el fallo muscular (3-6RM) y la inexistente (Chelly et al., 2009) o muy reducida (Rønnestad et al., 2008; Comfort et al., 2012) incorporación de saltos al programa de entrenamiento de fuerza de estos estudios, implicaría la realización de similares ejercicios pero a menores velocidades de contracción muscular que las empleadas en nuestro estudio, poniendo de manifiesto las principales diferencias que podrían justificar la ausencia de relación en estos trabajos entre los cambios en la fuerza de los deportistas y los cambios en la capacidad de aceleración. Si bien y como se ha comentado la aplicación de fuerza es determinante en la capacidad de aceleración (Hunter et al., 2005), la velocidad a

la que se aplica esa fuerza también es un factor que diferencia a los deportistas que mejor rendimiento en aceleración presentan (Lockie et al., 2011). Por lo tanto, el empleo de cargas moderadas desplazadas a elevadas velocidades de contracción podría solicitar una intervención del sistema neuromuscular más similar a la realizada en una aceleración, posibilitando la relación observada entre los cambios en esta cualidad,  $SC_{60}$  y el entrenamiento de fuerza realizado.

### **5.5 Conclusiones.**

A partir de los resultados encontrados cabe destacar que el empleo por parte de futbolistas, con poca experiencia previa en entrenamiento de fuerza, de cargas de entrenamiento movilizadas próximas a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en sentadilla completa puede ser un factor determinante en la mejora de la aceleración del jugador. Los resultados del estudio también muestran que el entrenamiento aeróbico dirigido a la mejora del  $VO_{2\text{máx}}$  puede maximizar el efecto inhibitorio de este tipo de entrenamiento sobre la mejora de la capacidad de aceleración de los jugadores de fútbol, sin encontrar relación alguna entre los indicadores de carga obtenidos a partir los registros de frecuencia cardiaca del jugador y los cambios en el rendimiento físico.

### **5.6 Aplicaciones prácticas.**

El control de las cargas de entrenamiento mediante el registro de la frecuencia cardiaca en competición podría permitir obtener información sobre la magnitud del entrenamiento de resistencia para optimizar las mejoras producidas por el entrenamiento simultáneo de fuerza y velocidad. Además, el empleo de cargas ligeras y medias desplazadas a la máxima velocidad posible proporcionan una alternativa al empleo generalizado de cargas próximas a 1RM tanto para la medición de la fuerza del jugador como para la programación de los entrenamientos evitando los riesgos que el empleo de cargas hasta el fallo o próximo a él (1-XRM) conllevan para la salud del deportista.

## **6. Estudio 3**

### **Publicación 3**

**Relationships between vertical jump and full squat power outputs with sprint times in U21 soccer players**

**Relación entre la capacidad de salto y la potencia producida en sentadilla completa y el rendimiento en esprint en jugadores de fútbol sub-21**

## **6.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación.**

La sentadilla y el salto han sido dos ejercicios ampliamente utilizados para la mejora de la aceleración del deportista (Wisloff, 1998; Sleivert y Taingahue, 2004; Sander et al., 2013). Sin embargo, las relaciones encontradas entre la potencia generada en estos ejercicios isoinerciales y el rendimiento en esprint son contradictorias. La elevada relación encontrada entre 1RM en sentadilla completa y el tiempo empleado en recorrer 10 m a máxima velocidad (Wisloff et al., 1998) no ha vuelto a encontrarse con posterioridad (Cronin y Hansen, 2005), ni han sido realizados estudios en los que se analice la posible relación entre la capacidad de aceleración y la fuerza medida con cargas medias o ligeras y el salto vertical. Por tanto, nos planteamos el siguiente problema:

### **Problema 1**

¿Qué relación existe entre la potencia generada en el salto vertical y la sentadilla completa y el rendimiento en aceleración en 30 m en jugadores de fútbol sub-21?

### **Objetivo 1**

Comprobar la relación entre la potencia generada en salto vertical con cargas y en sentadilla completa y el tiempo en 10 m, 20 m y 30 m.

### **Hipótesis**

La fuerza extensora de cadera, rodilla y tobillo ha mostrado estar implicada en el rendimiento del esprint (Baker y Nance, 1999; Sleivert y Taingahue, 2004; Harris et al, 2010), motivo por el cual ejercicios como la sentadilla y el salto con carga han sido aplicados para su mejora utilizando cargas próximas a 1RM (Wisloff et al, 2004; Ronnestad et al, 2008). Sin embargo, los intentos de encontrar relaciones entre la fuerza máxima medida con cargas pesadas (1RM-XRM) y el sprint no han sido concluyentes. La elevada correlación ( $r = 0.94$ ) entre sentadilla y tiempo en 10 m mostrada por Wisloff et al (1998) no ha sido confirmada con posterioridad, y en un trabajo similar (Cronin y Hansen, 2005) no se encontró correlación entre 3RM en sentadilla y esprint en 30 m. Es probable que esta ausencia de correlación se deba a la diferencia de velocidad a la que se realizan las dos acciones que se quieren

comparar, ya que en estos estudios se ha analizado la relación entre el rendimiento en carrera (acción realizada a muy alta velocidad absoluta y con tiempos muy cortos de aplicación de fuerza) con la fuerza manifestada ante cargas muy elevadas, y por tanto desplazadas a muy baja velocidad y tiempos de aplicación de fuerza muy elevados. Sin embargo, si la fuerza se midiera con cargas ligeras y ejercicios que se realizan a muy alta velocidad, como la sentadilla con velocidades próximas a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y saltos con cargas ligeras, es probable que se encuentre relación, dado que las velocidades de ejecución de los distintos tipos de ejercicios están en la zona de máxima velocidad de sus correspondientes curvas fuerza-velocidad. Por otra parte, dado que con las velocidades indicadas se alcanzan valores de potencia muy próximos a los máximos en los ejercicios de sentadilla (González-Badillo, 2000) y salto con cargas, es probable que los valores de potencia alcanzados con estos ejercicios y la aceleración en distancias cortas presenten relación. Por tanto, proponemos la siguiente hipótesis:

### **Hipótesis 1**

La potencia generada por el jugador de fútbol con cargas desplazadas en el ejercicio de sentadilla completa a una velocidad media mínima de  $\approx 0.8 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $\approx 70\% 1\text{RM}$ ) y la generada con cargas próximas a una velocidad media mínima de  $\approx 1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , está relacionada con el rendimiento en 10 m, 20 m y 30 m.

## **6.2 Metodología.**

### **6.2.1 Tipo de investigación.**

Se efectuó un estudio transversal para comprobar la relación entre variables representativas de la potencia muscular y la capacidad de aceleración de un grupo de jugadores de fútbol amateurs sub-21. Para asegurar la correcta ejecución técnica de los ejercicios de fuerza medidos, todas las sesiones de evaluación fueron realizadas a mitad del periodo competitivo, en el que una/dos veces por semana los jugadores efectuaban entrenamiento complementario de fuerza con la sentadilla y el salto con carga como ejercicios fundamentales. Las mediciones

fueron realizadas en dos semanas competitivas y al menos 48 horas después del último partido.

#### 6.2.2 Muestra.

La muestra estuvo compuesta por 14 jugadores de fútbol ( $20.1 \pm 0.4$  años,  $75.5 \pm 7.7$  kg de peso y  $179 \pm 0.1$  cm de altura) que competían en el Grupo XIII de la Tercera División española. Los sujetos fueron informados sobre las características y objetivos del estudio, los procedimientos, la libre participación y la posibilidad de dejar en cualquier momento de participar en el mismo. Cada jugador firmó un consentimiento informado antes de iniciar el estudio.

#### 6.2.3 Procedimientos.

Los jugadores efectuaron dos sesiones de evaluación en dos semanas consecutivas. En la primera sesión se estimó la potencia de los miembros inferiores en salto con carga y sentadilla completa, mientras que en la segunda se midió la capacidad de aceleración.

##### Estimación de la potencia.

La potencia se estimó en un laboratorio en condiciones estandarizadas a través de la realización de los siguientes tests: salto con contramovimiento (CMJ), salto con contramovimiento con carga (CMJ<sub>c</sub>) y sentadilla completa.

##### Salto con contramovimiento (CMJ).

El protocolo a realizar ha sido detallado en el Estudio 1.

##### Test progresivo de salto con contramovimiento con cargas CMJ<sub>c</sub> en multipower.

El protocolo de ejecución es el explicado en el Estudio 1, modificándose la variable obtenida para el posterior análisis. En este caso se registró el mejor valor de potencia pico obtenida en el salto con 20, 30 y 40 kg mediante el empleo de un transductor lineal fijado a la barra del mutipower (Globus Real Power, Italia).



### Estudio 3. Relación entre la capacidad de salto y la potencia producida en sentadilla completa y el rendimiento en esprint en jugadores de fútbol sub-21

Test progresivo con cargas en sentadilla completa (González Badillo y Gorostiaga, 1995; González Badillo y Ribas, 2002).

Como ocurre con la anterior variable, el protocolo utilizado es el detallado en el Estudio 1, con la salvedad de que la variable obtenida para el posterior análisis fue el mejor valor de potencia media y pico obtenida con cada carga medida con el empleo de un transductor lineal (Globus Real Power, Italia). El transductor fue conectado a un ordenador portátil que registró los datos a una frecuencia de muestreo de 1000 Hz, incorporando un temporizador con una precisión de 0.2 microsegundos. A partir de los datos de posición del cable y en función del tiempo empleado en realizar el movimiento, se calculaba la velocidad del desplazamiento de la barra y la aceleración. La aceleración por la masa introducida en el sistema daba lugar a la fuerza aplicada, que al multiplicarla por la velocidad ofrecía los datos de potencia. El coeficiente de variación de estos valores de potencia estuvo entre el rango 2.9% y 4%, y el coeficiente de correlación intraclase entre los valores 0.92 y 0.94.

#### Medición de la aceleración.

El protocolo empleado para la evaluación de esta cualidad es el descrito en el Estudio 1.

#### 6.2.4 Análisis estadístico.

Los datos son presentados como medias y desviaciones estándar (DE). Se aplicó un ANOVA para comprobar las diferencias entre grupos en el test inicial. Se aplicó un análisis de covarianza para comparar a ambos equipos en el test 2, mientras que para comparar los cambios intra-grupos se efectuó t-test para muestras relacionadas. Se consideró un nivel alfa  $p \leq 0.05$ . El paquete estadístico utilizado fue SPSS 15.0.

### 6.3 Resultados.

La Tabla 3.1 muestra los valores obtenidos de los jugadores en salto con contramovimiento (CMJ) y en los diferentes parciales de velocidad medidos.

**Tabla 3.1** Resultados (media  $\pm$  DE) obtenidos en salto con contramovimiento y parciales de aceleración

Altura de salto (CMJ)	38.34 $\pm$ 4.44 (cm)
T <sub>10</sub>	1.92 $\pm$ 0.06 (s)
T <sub>20</sub>	3.22 $\pm$ 0.09 (s)
T <sub>30</sub>	4.43 $\pm$ 0.14 (s)
T <sub>10-20</sub>	1.28 $\pm$ 0.04 (s)
T <sub>10-30</sub>	2.50 $\pm$ 0.05 (s)
T <sub>20-30</sub>	1.20 $\pm$ 0.05 (s)

CMJ: altura del salto con contramovimiento; T<sub>10</sub> : tiempo en 10 m; T<sub>20</sub> tiempo en 20 m; T<sub>30</sub> : tiempo en 30 m; T<sub>10-20</sub> = tiempo en el parcial 10-20 m; T<sub>10-30</sub> = tiempo en el parcial 10-30 m; T<sub>20-30</sub> = tiempo en el parcial 20- 30 m.

#### 6.3.1 Relaciones entre capacidad de aceleración y salto.

Las correlaciones obtenidas entre las variables obtenidas en los saltos y los parciales de aceleración medidos se muestran en la Tabla 3.2. La altura del salto en CMJ mostró una alta correlación significativa con los tiempos en T<sub>20</sub> y T<sub>30</sub> ( $r = -0.54$  y  $-0.55$ , respectivamente;  $p \leq 0,5$ ) mientras que la potencia pico en CMJ<sub>20</sub> correlacionó significativamente con todos los tiempos medidos ( $r = -0.56$  -  $-0.75$ ;  $p \leq 0,5$  -  $0,01$ ) Los tiempos en los parciales intermedios, en los que el jugador alcanza más velocidad (T<sub>10-30</sub> y T<sub>20-30</sub>) correlacionaron de manera significativa con la potencia en todos los saltos con carga medidos ( $r = -0.65$  -  $-0.79$ ;  $p \leq 0,5$  -  $0,01$ ).

#### 6.3.2 Relaciones entre capacidad de aceleración y sentadilla.

Las correlaciones obtenidas entre los diferentes parciales de velocidad medidos y los valores de potencia media y pico con cada carga evaluada en el test progresivo con cargas de sentadilla se muestran en la Tabla 3.3. La potencia media obtenida con 70 kg presentó correlación significativa ( $r = -0.62$  -  $-0.78$ ;  $p \leq 0,05$ - $0,01$ ) con todos los tiempos medidos. Las potencias obtenidas con 30 kg y 40 kg

correlacionaron con  $T_{10}$  ( $r = -0.62, -0.60$ , respectivamente;  $p \leq 0,05$ ). Los tiempos en los parciales en los que más velocidad alcanza el jugador ( $T_{10-30}$  y  $T_{20-30}$ ) presentaron correlación significativa ( $r = -0.56 - -0.64$ ;  $p \leq 0,05$ ) con las potencias obtenidas con las cargas más ligeras (20 y 30 kg).

**Tabla 3.2** Correlaciones entre parciales de aceleración medidos y altura de salto sin carga (CMJ) y pico de potencia en salto con carga

	CMJ	CMJ <sub>20</sub>	CMJ <sub>30</sub>	CMJ <sub>40</sub>
Tiempo en 10 m	-0.46	-0.56*	-0.27	-0.44
Tiempo en 20 m	-0.54*	-0.58*	-0.37	-0.46
Tiempo en 30 m	-0.55*	-0.69*	-0.58	-0.61*
Tiempo en 10-20 m	-0.49	-0.57*	-0.62*	-0.51
Tiempo en 10-30 m	-0.52	-0.75**	-0.79**	-0.72*
Tiempo en 20-30 m	-0.48	-0.75**	-0.65*	-0.72*

CMJ = altura de salto con contramovimiento; CMJ<sub>c</sub> = salto con contramovimiento con carga. Valor de la significación: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ .

**Tabla 3.3** Correlaciones entre potencia media y pico en sentadilla y los parciales de aceleración medidos

	SC <sub>20</sub>		SC <sub>30</sub>		SC <sub>40</sub>		SC <sub>50</sub>		SC <sub>60</sub>		SC <sub>70</sub>	
	PP	PM	PP	PM	PP	PM	PP	PM	PP	PM	PP	PM
T <sub>10</sub>	-0.59	-0.50	0.47	-0.62*	-0.30	-0.60*	-0.21	-0.44	-0.31	-0.45	-0.21	-0.63*
T <sub>20</sub>	-0.44	-0.38	-0.40	-0.44	-0.29	-0.50	-0.21	-0.37	-0.37	-0.49	-0.08	-0.73**
T <sub>30</sub>	-0.58	-0.48	-0.50	-0.50	-0.36	-0.55	-0.28	-0.43	-0.37	-0.51	-0.03	-0.78**
T <sub>10-20</sub>	-0.44	-0.33	-0.18	-0.18	-0.24	-0.28	-0.08	-0.20	-0.21	-0.42	-0.05	-0.62*
T <sub>10-30</sub>	-0.63*	-0.50	-0.48	-0.42	-0.33	-0.48	-0.28	-0.39	-0.29	-0.50	-0.14	-0.76*
T <sub>20-30</sub>	-0.64*	-0.056*	-0.58*	-0.53	-0.34	-0.55	-0.35	-0.45	-0.30	-0.49	-0.07	-0.71*

T<sub>10</sub>= tiempo en 10 m (s); T<sub>20</sub>= tiempo en 20 m (s); T<sub>30</sub>= tiempo en 30 m (s); T<sub>10-20</sub>= tiempo en el parcial 10-20 m (s); T<sub>10-30</sub>= tiempo en el parcial 10-30 m (s); T<sub>20-30</sub>= tiempo en el parcial 20-30 m (s); SC<sub>c</sub>= sentadilla completa con carga; PP= pico de potencia; PM=potencia media. Significación: \*  $p \leq 0,05$ ; \*\*  $p \leq 0,01$ .

#### 6.4 Discusión.

El objetivo de este estudio fue comprobar la relación entre la potencia generada en salto vertical con cargas y en sentadilla completa y el tiempo en 10 m, 20 m y 30 m. Los resultados mostraron correlaciones significativas entre: a) el tiempo en 20 m y

30 m y la capacidad de salto; b) el tiempo en todos los parciales medidos y el pico de potencia obtenido en CMJ<sub>20</sub>; c) el tiempo en los parciales en los que más velocidad alcanza el jugador (T<sub>10-30</sub> y T<sub>20-30</sub>) con el pico de potencia obtenido en todos los saltos con carga evaluados; d) el tiempo en todos los parciales evaluados con la potencia media obtenida con 70 kg.

La altura de salto con contramovimiento ha sido ampliamente utilizada para medir la potencia extensora de los miembros inferiores del jugador de fútbol debido a la alta influencia de la fuerza concéntrica de la musculatura extensora de cadera, rodilla y tobillo sobre el rendimiento en esprint (Wisloff y col., 1998). En este sentido Wisloff y col. (2004) encontraron similares correlaciones ( $r = -0.60$ ;  $p \leq 0.01$ ) a las obtenidas en el presente estudio ( $r = -0.55$ ;  $p \leq 0.05$ ) con la variable T<sub>30</sub>, pero empleando la altura de salto en lugar de la potencia generada en el mismo. Esta asociación entre velocidad y potencia en salto mostró ser mayor ( $r = -0.65 - -0.75$ ;  $p \leq 0,05-0,01$ ) conforme la velocidad de carrera se aproxima a la máxima del deportista (T<sub>10-30</sub> y T<sub>20-30</sub>). En estudios previos (Wilson y col. 1995; Young y col. 1995) la aplicación de fuerza aplicada a altas velocidades de contracción ha mostrado una tendencia a estar más relacionada con el rendimiento en el esprint justificando la relación encontrada entre el rendimiento en esos últimos metros y la potencia generada en los saltos con carga medidos. Confirmando esta relación, el pico de potencia en salto que mostró mayor relación con el esprint fue el obtenido en CMJ<sub>20</sub>, mostrando una correlación inversa y significativa con todos los parciales medidos ( $r = -0.56 - -0.75$ ;  $p \leq 0,05-0,01$ ).

En la revisión efectuada solo se encontró un estudio que investigara la producción de potencia en media sentadilla con jugadores de fútbol (Requena et al., 2009), no encontrando referencias que analizasen esa variable en sentadilla completa. El pico máximo de potencia encontrado en nuestro estudio fue de  $1181 \pm 188$  w obteniéndose con una carga equivalente al 86% del peso corporal. Este resultado es similar al mostrado por Requena et al. (2009) con jugadores profesionales (1149 w). Sin embargo, este dato representó el 112,5% del peso corporal de los sujetos de estudio. Las diferencias en el rango de movimiento entre la media

sentadilla y la completa y los diferentes equipos de medición explicarían las diferencias encontradas.

Como en el salto con carga, la potencia obtenida en sentadilla completa con las cargas más ligeras correlacionó en mayor medida con los parciales en los que el jugador se desplazó a mayor velocidad (Tabla 3.3). Estos resultados son acordes con los previamente mostrados por Murphy y col. (2003). Durante la fase inicial de una carrera para conseguir la máxima velocidad posible, hay mayor tiempo disponible para aplicar fuerza, mientras que en los últimos metros, donde se alcanzan las velocidades máximas, ese tiempo disminuye y la aplicación de fuerza a elevadas velocidades cobra especial importancia a través del ciclo de estiramiento-acortamiento justificando la mayor relación encontrada entre los últimos metros de carrera y la potencia generada en sentadilla completa con cargas ligeras.

Los resultados mostraron correlación significativa entre  $T_{10}$  y la potencia media obtenida durante  $SC_{30}$  y  $SC_{40}$  ( $r = -0.62$  y  $r = -0.60$ , respectivamente). Las relaciones encontradas entre esa distancia inicial del esprint y valores representativos de la máxima fuerza del deportista (1RM-XRM) no han sido concluyentes. De hecho, solo el estudio de Wisloff et al. (2004) aportó correlaciones significativas ( $r = 0.94-0.71$ ) entre la fuerza máxima del futbolista y el tiempo en 10 m y 30 m. Otros estudios en la misma línea mostraron correlaciones pequeñas o no significativas (Baker y Nance, 1999; Cronin y Hansen, 2005; Harris y col., 2010). Más recientemente y recogido en el Estudio 2 de la presente Tesis, López-Segovia y col. (2010) encontraron correlaciones significativas en futbolistas entre cambios en el rendimiento en el esprint y cambios en la velocidad de desplazamiento de la barra del multipower en el ejercicio de sentadilla completa ( $r = 0.53-0.64$ ,  $p < 0.05$ ) tras cuatro meses de entrenamiento de fuerza combinado con entrenamiento específico de fútbol y competición. Este dato sugiere que probablemente es importante mejorar la capacidad de aplicar fuerza en el ejercicio de sentadilla para estimular las adaptaciones neurales específicas que mejoren el rendimiento en el esprint.

Es relevante resaltar que los datos también muestran correlaciones significativas entre la potencia media obtenida en  $SC_{70}$  con todos los parciales de velocidad

medidos ( $r = -0.62 - -0.78, p \leq 0.05$ ). Esta carga representó el 93% del peso corporal de los jugadores, próxima a la carga representativa del 100% del peso corporal que mostró estar relacionada significativamente ( $r = -0.62, p \leq 0.01$ ) con el tiempo en 15 m en el estudio de Requena y col. (2009). Ambas relaciones podrían sugerir que ciertos niveles de activación neuromuscular, medidos a través de la potencia media y producidos con cargas próximas a la carga de máxima potencia, están más relacionados con el rendimiento en el esprint que otras cargas de distinta magnitud, lo cual sugiere que probablemente la utilización de estas cargas son de mayor idoneidad para la mejora del rendimiento en esprint.

Aunque la relación no implica causalidad, las adaptaciones neuromusculares producidas por el entrenamiento con cargas ligeras en ejercicios como el salto y la sentadilla podrían tener un efecto positivo significativo sobre la mejora del rendimiento en el esprint, en línea con los resultados de otros estudios (McBride, 2002).

## **6.5 Conclusiones.**

En base a los resultados obtenidos, la potencia obtenida en CMJ<sub>20</sub> y SC<sub>70</sub> han mostrado significativas relaciones con el rendimiento en 30 m en jugadores de fútbol sub-21. Por tanto, los resultados sugieren que la producción de potencia tanto en el salto vertical como en la sentadilla completa es una variable importante para explicar el rendimiento en el sprint en futbolistas.

## **6.6 Aplicaciones prácticas.**

Dado que, como se ha observado en este estudio, la potencia producida tanto en el salto vertical como en la sentadilla completa puede ser una variable importante para explicar el rendimiento en el sprint del jugador de fútbol, esta información puede ser utilizada por los entrenadores para emplear la potencia generada en estos ejercicios como variable importante en el proceso de entrenamiento dirigido hacia la mejora del sprint. Futuras investigaciones en esta línea se muestran

Estudio 3. Relación entre la capacidad de salto y la potencia producida en sentadilla completa y el rendimiento en esprint en jugadores de fútbol sub-21

necesarias para aclarar la eficacia del empleo en el proceso de entrenamiento de esta variable, que para que se manifieste en su máxima expresión exige desplazar la carga a la máxima velocidad posible, frente al tradicional entrenamiento de fuerza centrado en la movilización de cargas elevadas a bajas velocidades de desplazamiento o a baja velocidad voluntaria ante cargas medias.

# **7. Estudio 4**

## **Publicación 4**

**Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players**

**Importancia de la potencia muscular para el rendimiento en el esprint y en esprints repetidos en futbolistas**



## **7.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación.**

La capacidad de mantener el rendimiento en una secuencia de esprints repetidos ha sido ampliamente estudiada (Girard et al., 2011). Sin embargo, aunque la fuerza se ha propuesto como una cualidad clave en el rendimiento en el esprint (Wisloff et al., 1998; Gorostiaga et al., 2004; Wong et al., 2010), en la revisión efectuada no hemos encontrado estudios que analicen la relación entre la fuerza o la potencia en los ejercicios de sentadilla y salto y una secuencia de esprints repetidos. Por tanto, nos planteamos el siguiente problema de investigación:

### **Problema 1**

¿Qué relación existe entre la potencia generada en el salto vertical y la sentadilla completa y el número de esprints de 40 m realizado a la máxima velocidad posible hasta perder el 3% de la velocidad de la mejor repetición?

### **Objetivo 1**

Comprobar la relación entre la potencia generada en el salto vertical con cargas y en la sentadilla completa y el número de esprints de 40 m realizado a la máxima velocidad posible, con dos minutos de recuperación entre carreras, hasta perder el 3% de la velocidad de la mejor repetición.

### **Hipótesis**

Existen investigaciones en las que se ha observado relación entre la fuerza, medida a través de los ejercicios de sentadilla y salto, y el rendimiento de un único esprint (Wisloff et al., 2004; Comfort et al., 2014). Dado que el rendimiento en el esprint depende de factores anaeróbicos y de la utilización prioritaria de fibras tipo II, y que los sujetos con más fuerza relativa en las piernas, y por tanto más potentes en términos relativos, tienden a poseer mayor porcentaje de fibras rápidas y ser más veloces, es probable que los sujetos de mayor fuerza y potencia en los miembros inferiores tiendan a perder menos velocidad relativa por repetición. Esta probabilidad se apoya también en el hecho de que al tender a ser más veloces, la

pérdida absoluta de velocidad deberá ser mayor para que se llegue a una pérdida del 3% de la velocidad máxima. Por tanto, se propuso la la siguiente hipótesis:

### **Hipótesis 1**

Los jugadores capaces de generar mayor potencia en los ejercicios de saltos con carga y sentadilla son capaces de efectuar mayor número de esprints de 40 m hasta perder un 3% de su mejor repetición.

## **7.2 Metodología.**

### **7.2.1 Tipo de investigación.**

Se efectuó un estudio transversal para comprobar la relación entre variables representativas de la potencia muscular y la capacidad de esprintar y mantener el rendimiento en esprints repetidos en un grupo de jugadores de fútbol amateurs.

### **7.2.2 Muestra.**

La muestra estuvo compuesta por 19 jugadores semiprofesionales de fútbol (21.2 ± 2.1 años, 75.6 ± 6.8 kg de peso y 178 ± 0.1 cm de altura) que competían en el Grupo XIII de la Tercera División española. Los jugadores entrenaron cuatro veces por semana en campo (entre 90 y 120 min de duración cada sesión) y jugaron un partido de competición semanal. La investigación fue aprobada por el Comité Ético de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla. Los sujetos fueron informados sobre las características y objetivos del estudio, los procedimientos, la libre participación y la posibilidad de dejar en cualquier momento de participar en el mismo. Cada jugador firmó un consentimiento informado antes de iniciar el estudio.

### **7.2.3 Procedimientos.**

Las mediciones se efectuaron en dos sesiones separadas una semana y al menos 48 h del partido más reciente. En la primera sesión se midió en condiciones estandarizadas de laboratorio la potencia en los ejercicios de sentadilla y salto. Para asegurar la correcta ejecución técnica de los ejercicios de fuerza medidos, esta sesión fue realizada a mitad del periodo competitivo, tras un periodo de

#### Estudio 4. Importancia de la potencia muscular para el rendimiento en el esprint y en esprints repetidos en futbolistas

entrenamiento de fuerza con dos entrenamientos semanales en el que se incluyó la sentadilla completa con cargas próximas a la de máxima potencia y el salto con cargas próximas al 25% de la carga de máxima potencia en sentadilla. En la segunda sesión se midió en un pabellón cubierto la capacidad del jugador de realizar carreras repetidas de 40 m a la máxima velocidad posible hasta perder un 3% de su mejor marca con dos minutos de recuperación entre cada carrera.

##### Estimación de la potencia.

Test progresivo de salto con contramovimiento con cargas CMJ<sub>c</sub> en multipower.

El protocolo de ejecución es el explicado en el Estudio 3. Para este estudio se registró el mejor valor de potencia pico obtenida con 20 kg, 30 kg y 40 kg para calcular la suma de éstas como variable CMJ<sub>20-30-40</sub>.

Test progresivo con cargas en sentadilla completa (González Badillo y Gorostiaga, 1995; González Badillo y Ribas, 2002).

Como ocurre con la anterior variable, el protocolo utilizado es el detallado en el Estudio 3 teniendo en cuenta únicamente los valores de potencia media con cada una de las cargas medidas.

##### Medición de la capacidad de mantener el rendimiento en esprints repetidos.

Los jugadores realizaron carreras de 40 m con la finalidad de recorrer esa distancia en el menor tiempo posible, con dos minutos de recuperación entre cada carrera, repitiendo el esfuerzo hasta perder el 3% de la velocidad de la mejor repetición. Inmediatamente después de cada esprint, el jugador anduvo hasta la posición de salida y esperó hasta el próximo esprint. El número de carreras efectuadas fue registrado como índice de resistencia al esprint (IRE). Para verificar el grado de fatiga y evitar errores en la determinación del número de carreras efectuadas, un segundo intento fue realizado sin ser registrado en el caso de que se confirmase esa pérdida de rendimiento y los dos primeros esprints fueron considerados como parte final del calentamiento sin ser tenidos en cuenta. Este tipo de esfuerzos de 40 m de carrera a máxima velocidad con dos minutos de

recuperación ha mostrado alta fiabilidad (Balsom et al., 1992). La posición de salida fue estandarizada, con el pie más adelantado sobre una línea marcada a 1 m de la salida. Los tiempos fueron registrados con células fotoeléctricas colocadas en la salida, a los 10 m, 20 m y 40 m.

#### Medición de la concentración de lactato en sangre.

La concentración de lactato en sangre fue medida en condiciones de reposo ( $La_{PRE}$ ) inmediatamente antes de iniciar el test de esprints repetidos y tras efectuar el último esprint ( $La_{POST}$ ), mediante la utilización de un analizador portátil (Accutrend Lactate, Roche Diagnostics, Basel, Suiza). La fiabilidad y precisión de este analizador ha sido previamente analizada (Baldari et al., 2009).

#### 7.2.4 Análisis estadístico.

Para determinar las posibles relaciones existentes entre las diferentes variables medidas se utilizó el coeficiente de correlación de Pearson. Para analizar la importancia de la potencia de los miembros inferiores en la capacidad de mantener el rendimiento en esprints repetidos, los jugadores fueron divididos en más ( $n = 9$ ) y menos ( $n = 9$ ) potentes en función de dos variables relacionadas con el peso corporal: máxima potencia media en sentadilla completa ( $SC_{MAXPM}$ ) y la suma de la potencia generada en salto con 20 kg, 30 kg y 40 kg ( $CMJ_{20-30-40}$ ). Ambos grupos fueron comparados mediante ANOVA. El nivel de significación fue establecido en  $p \leq 0.05$ .

### **7.3 Resultados.**

En la Tabla 4.1 se presentan los resultados obtenidos en las pruebas de valoración del rendimiento efectuadas al inicio ( $E_1$ ) y al final del periodo de estudio ( $E_2$ ).

Al comparar el rendimiento en el esprint individual y en la resistencia al esprint de los jugadores más y menos potentes en SC y CMJ (Tabla 4.2), los jugadores más potentes fueron más rápidos en todas las variables medidas, siendo la diferencia estadísticamente significativa en  $T_{10}$  ( $p \leq 0.01$ ). Además, los jugadores más potentes fueron capaces de realizar de manera estadísticamente significativa ( $p \leq 0.05$ ) más esprints de 40 m hasta perder 3% del rendimiento.

*Estudio 4. Importancia de la potencia muscular para el rendimiento en el esprint y en esprints repetidos en futbolistas*

**Tabla 4.1** Resultados (media  $\pm$  DE) obtenidos en las diferentes variables medidas

IRE (número de esprints)	7.9 $\pm$ 3.2
Tiempo en 10 m (s)	1.91 $\pm$ 0.06
Tiempo en 20 m (s)	3.18 $\pm$ 0.09
Tiempo en 40 m (s)	5.53 $\pm$ 0.18
La <sub>PRE</sub>	3.12 $\pm$ 1.13
La <sub>POST</sub>	10.1 $\pm$ 2.09
CMJ <sub>20-30-40</sub> (w·kg <sup>-1</sup> )	14.84 $\pm$ 2.53
SCMax <sub>PM</sub> (w)	558 $\pm$ 97
SCMax <sub>PM·kg</sub> (w·kg <sup>-1</sup> )	7.44 $\pm$ 1.5
Carga de máxima potencia sentadilla (kg)	65.9 $\pm$ 10.6

IRE: índice de resistencia al esprint, número de esprints realizados hasta perder el 3 % del mejor esprint; La<sub>PRE</sub>= concentración de lactato en sangre en reposo; La<sub>POST</sub>= concentración de lactato en sangre tras el último esprint; CMJ<sub>20-30-40</sub>= valor medio de la potencia obtenida con 20 kg, 30 kg y 40 kg; SCMax<sub>PM</sub>= máximo valor de potencia media obtenido en sentadilla; SCMax<sub>PM·kg</sub>= máximo valor de potencia media por kg de peso corporal obtenido en sentadilla.

**Tabla 4.2** Comparación entre los jugadores más y menos potentes (SCMax<sub>PM</sub> y CMJ<sub>20-30-40</sub>) por kg de peso (media  $\pm$  DE)

VARIABLES	SCMax <sub>PM</sub> (w·kg <sup>-1</sup> )		CMJ <sub>20-30-40</sub> (w·kg <sup>-1</sup> )	
	Más potentes N = 9	Menos potentes N = 9	Más potentes N = 9	Menos potentes N = 9
IRE	9.1 $\pm$ 4.2	6.5 $\pm$ 1.6*	8.9 $\pm$ 4	6.6 $\pm$ 2.2
T <sub>10</sub> (s)	1.87 $\pm$ 0.03	1.93 $\pm$ 0.08**	1.88 $\pm$ 0.05	1.92 $\pm$ 0.07
T <sub>20</sub> (s)	3.13 $\pm$ 0.05	3.23 $\pm$ 0.11	3.15 $\pm$ 0.07	3.2 $\pm$ 0.11
T <sub>40</sub> (s)	5.46 $\pm$ 0.12	5.63 $\pm$ 0.21	5.47 $\pm$ 0.13	5.59 $\pm$ 0.23
La <sub>Pre</sub>	2.93 $\pm$ 0.74	3.61 $\pm$ 1.4*	3.03 $\pm$ 0.96	3.37 $\pm$ 1.4
La <sub>Post</sub>	10.41 $\pm$ 2.6	9.65 $\pm$ 1.7	9.73 $\pm$ 2.57	10.26 $\pm$ 1.9

Análisis intergrupos = \* $p \leq 0.05$ ; \*\* $p \leq 0.01$ . SCMax<sub>PM</sub> = máxima potencia obtenida de entre las cargas medidas en el test progresivo con cargas en sentadilla; CMJ<sub>20-30-40</sub> = suma de los valores de potencia pico obtenidos en CMJ con 20 kg, 30 kg y 40 kg; IRE = índice de resistencia al esprint, número de esprints realizados hasta perder un 3% del rendimiento del mejor tiempo en 40 m; T<sub>10</sub> = mejor tiempo en esprint de 10 m; T<sub>20</sub> = mejor tiempo en esprint de 20 m; T<sub>40</sub> = mejor tiempo en esprint de 40 m; La<sub>Pre</sub> = concentración de lactato en sangre en reposo; La<sub>Post</sub> = concentración de lactato al finalizar el protocolo de esprints repetidos.

Las relaciones encontradas entre la potencia obtenida en SC y CMJ<sub>c</sub> y el rendimiento tanto en el esprint individual como en el IRE se muestran en las siguiente tablas. La potencia en SC mostró altas y muy altas correlaciones con el

*Estudio 4. Importancia de la potencia muscular para el rendimiento en el esprint y en esprints repetidos en futbolistas*

tiempo en 10 m, 20 m y 40 m ( $r = -0.566/-0.727$ ;  $p \leq 0.05/0.01$ ), sin encontrar relación con el IRE. El pico de potencia con las diferentes cargas medias en  $CMJ_{20-30-40}$  por kg de peso corporal presentó correlación con todas las distancias medidas y el IRE ( $r = 0.591/-0.640$ ;  $p \leq 0.05/0.01$ ), mientras que la relación entre el pico de potencia en CMJ con diferentes cargas presentó correlación con la mayoría de las distancias medidas y el IRE ( $r = 0.500/-0.663$ ;  $p \leq 0.05/0.01$ ).

**Tabla 4.3** Correlaciones entre la potencia generada en  $CMJ_C$  y los tiempos en diferentes esprints e IRE

	$PPCMJ_{20-30-40} \cdot kg^{-1}$	$PPCMJ_{20}$	$PPCMJ_{30}$	$PPCMJ_{40}$
IRE	0.591*	0.520*	0.640**	0.500*
$T_{10}$ (s)	-0.547*	-0.453	-0.482	-.619*
$T_{20}$ (s)	-0.640**	-0.548*	-0.557*	-.663**
$T_{40}$ (s)	-0.568*	-0.534*	-0.480	-.559*

$PPCMJ_{20-30-40} \cdot kg^{-1}$  = suma de los valores de potencia pico obtenidos en CMJ con 20 kg, 30 kg y 40 kg por kg de peso corporal;  $PPCMJ_{20}$  = pico de potencia en  $CMJ_{20}$ ;  $PPCMJ_{30}$  = pico de potencia en  $CMJ_{30}$ ;  $PPCMJ_{40}$  = pico de potencia en  $CMJ_{40}$ ; IRE = índice de resistencia al esprint, número de esprints realizados hasta perder un 3% del rendimiento del mejor tiempo en 40 m;  $T_{10}$  = mejor tiempo en 10 m;  $T_{20}$  = mejor tiempo en 20 m;  $T_{40}$  = mejor tiempo en 40 m. (\* $p \leq 0.05$ ; \*\* $p \leq 0.01$ ).

**Tabla 4.4** Correlaciones entre la potencia generada en  $SC_C$  y los tiempos en diferentes esprints e IRE

	$SC_C$							
	$SCMax_{PM}$	$SCMax_{PM} \cdot kg^{-1}$	20 kg	30 kg	40 kg	50 kg	60 kg	70 kg
IRE	0.411	0.539*	-0.116	0.055	0.215	0.278	0.221	0.341
$T_{10}$ m(s)	-0.573*	-0.501*	-0.194	-0.411	-0.566*	-0.434	-0.539*	-0.613*
$T_{20}$ m(s)	-0.704**	-0.691*	-0.307	-0.478	-0.724**	-0.587*	-0.727**	-0.725**
$T_{40}$ m(s)	-0.627**	-0.660**	-0.318	-0.428	-0.621**	-0.492*	-0.682**	-0.687**

$SCMax_{PM}$  = máxima potencia media en sentadilla;  $SCMax_{PM} \cdot kg^{-1}$  = máxima potencia media en sentadilla por kg de peso;  $SC_C$  = sentadilla completa con carga; IRE = índice de resistencia al esprint, número de esprints realizados hasta perder un 3% del rendimiento del mejor tiempo en 40 m;  $T_{10}$  = mejor tiempo en 10 m;  $T_{20}$  = mejor tiempo en 20 m;  $T_{40}$  = menor tiempo en 40 m. (\* $p \leq 0.05$ ; \*\* $p \leq 0.01$ ).

El IRE presentó correlación con las variables relativas al peso corporal  $SCMax_{PM} \cdot kg^{-1}$  ( $r = 0.539$ ,  $p \leq 0.05$ ) y  $CMJ_{20-30-40} \cdot kg^{-1}$  ( $r = 0.591$ ,  $p \leq 0.05$ ).

#### **7.4 Discusión.**

El principal objetivo de este estudio fue comprobar la relación entre la potencia generada en el salto vertical con cargas y en la sentadilla completa y el número de esprints de 40 m realizados a la máxima velocidad posible, con dos minutos de recuperación entre carreras, hasta perder el 3% de la velocidad de la mejor repetición. El principal hallazgo fue la relación encontrada entre la capacidad de resistir al esprint y la potencia generada en función del peso corporal tanto en salto con carga como en sentadilla (Tablas 4.3 y 4.4 respectivamente).

En contraste con nuestros resultados, estudios previos mostraron mayor grado de fatiga en protocolos de esprints repetidos en los deportistas capaces de generar mayor potencia a lo largo de 10 esprints de seis segundos de duración (Hamilton et al., 1991) y en un esfuerzo máximo de seis segundos en cicloergómetro (Bishop y Spencer, 2004). Estos resultados fueron explicados por la mayor dependencia del metabolismo anaeróbico encontrada en los sujetos más potentes (Hamilton et al., 1991). Sin embargo y aunque el patrón de esfuerzos fue similar (el tiempo medio de 40 m fue 5.53 s mientras que en los dos estudios mencionados el esfuerzo fue realizado durante 6 s), el mayor tiempo de recuperación empleado en nuestro estudio (2 min frente a 30 s) permite mayor resíntesis de fosfocreatina y por ello mayor probabilidad de aportar energía por la vía anaeróbica aláctica y como consecuencia, una menor dependencia de la glucólisis anaeróbica relacionada con la aparición de fatiga por las alteraciones metabólicas que implica su utilización (Glaister, 2005).

Otro aspecto que también podría explicar las diferencias con los estudios citados es que en el presente estudio se tuvo en cuenta la pérdida individual de rendimiento. Con un mismo número de esprints y tiempos de recuperación cortos ( $\cong 30$  s) para todos los sujetos, se ha encontrado una alta concentración de  $H^+$ , lo cual contribuiría a la inhibición de la vía anaeróbica láctica (Glaister, 2005), teniendo como consecuencia la aparición de fatiga y la reducción de la fuerza y potencia (Sahlin, 1992). Sin embargo, con un protocolo de esprints repetidos efectuado en función de la pérdida de rendimiento individual y con un tiempo de

recuperación mayor, el efecto inhibitorio causado por estas alteraciones metabólicas sería similar para todos los jugadores (no se encontraron diferencias en la concentración de lactato al comparar los jugadores más potentes con los menos) y por tanto otro factor como el ratio trabajo-recuperación debería ser tenido en cuenta. Tres minutos de recuperación entre cada sprint de 10 s permitió el mantenimiento de la velocidad de carrera en población infantil ( $11.7 \pm 0.5$  años) (Ratel et al., 2006), mientras que con dos minutos de recuperación en un protocolo de carreras a máxima velocidad consistente en 15 x 40 m, el descenso del rendimiento si fue significativo (Balsom et al., 1992). Como consecuencia y aunque las distancias empleadas en estos dos estudios fueron diferentes, el tiempo de recuperación entre esprints debe considerarse un aspecto clave. De hecho, la recuperación de sustratos energéticos empleados y la contribución aeróbica de energía han mostrado estar estrechamente relacionados con el tiempo de recuperación entre esfuerzos (Dawson et al., 1997; Bishop y Spencer, 2004; Girard et al., 2011). En un protocolo consistente en cinco esprints de cinco segundos de duración (Dawson et al., 1997), la recuperación de los depósitos de fosfocreatina fue superior con periodos de recuperación de tres minutos frente a periodos de 10-30 s, mientras que el consumo de oxígeno durante el ejercicio fue superior (66%) con 120 s de recuperación frente a 30 s (Balsom et al., 1992). Por tanto, un periodo de recuperación mayor, como el empleado en nuestro caso, podría permitir mayor recuperación de los depósitos de fosfocreatina y un mayor aporte de energía aeróbica, lo que reduciría la aparición de la fatiga relacionada con la reducción de la actividad enzimática provocada por el descenso del pH intracelular asociado a la elevada contribución glucolítica anaeróbica (Spriet et al., 1989). Este aspecto permitiría que los jugadores más potentes, más rápidos en todas las distancias medidas (Tabla 4.2), pero más dependientes del metabolismo anaeróbico y por tanto con mayor capacidad de sufrir la fatiga relacionada con la reducción de la actividad enzimática, no viesen disminuido su rendimiento ante la sucesión de esprints en mayor proporción que los jugadores menos potentes, explicando el mayor rendimiento de estos sujetos en la sucesión de esprints efectuada.



Los valores de lactato encontrados al finalizar el protocolo de esprints repetidos ( $10.1 \text{ mmol/l} \pm 2.1$ ) fueron similares a los encontrados en un estudio con similar periodo de recuperación (Balsom et al., 1992) e inferiores a los mostrados ( $15.2-12.4 \pm 1.9-1.7 \text{ mmol/l}$ ) en estudios en los que la potencia del deportista presentó correlación positiva con la fatiga en el protocolo de resistencia al esprint (Hamilton et al., 1991), medida por medio de la pérdida de potencia generada durante cada uno de los diez esprints de seis segundos efectuados en cinta con 30 segundos de recuperación.

El análisis de los esprints realizados por jugadores profesionales en partidos de Champions League y UEFA Cup (Di Salvo et al., 2010) reveló que el número de esprints (velocidad  $> 25.2 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ ) realizados por partido osciló en función de la posición del jugador entre  $17.3 \pm 8.7$  (defensas centrales) y  $35.8 \pm 13.4$  (centrocampistas de banda). Estos datos mostrarían que el jugador de fútbol, incluso realizando entre esos esfuerzos otros de intensidad menor, podría tener tiempo de recuperación suficiente entre cada esprint máximo ( $\sim 5$  min en caso de los centrales y 2.5 en caso de los centrocampistas de banda) para que las alteraciones metabólicas causantes de la fatiga y anteriormente discutidas no fuesen decisivas en el descenso del rendimiento de los esprints efectuados a máxima intensidad, existiendo la posibilidad de que otros aspectos como el rendimiento en fuerza puedan ser decisivos.

Aunque la relación entre el rendimiento en fuerza y el esprint ha sido analizada en un artículo perteneciente a la presente Tesis (López-Segovia et al., 2011), no hemos encontrado estudios que analicen la posible relación de la fuerza del jugador con el rendimiento en esprints repetidos. Diferentes autores han sugerido que la fuerza máxima del jugador es determinante del rendimiento en el esprint (Wisloff et al., 2004; Comfort et al., 2014). Sin embargo, numerosos estudios han intentado comprobar las relaciones existentes entre la fuerza máxima de los miembros inferiores del jugador medida mediante 1-3 repeticiones máximas (1-3RM) y el rendimiento en el esprint, sin llegar a obtener similares resultados (Wisloff et al., 2004; Cronin y Hansen, 2005; Harris et al., 2010). La alta

correlación encontrada entre 1-RM y el tiempo en 10 m ( $r = 0.94, p \leq 0.01$ ) y 30 m ( $r = 0.71, p \leq 0.01$ ) contrasta con otras investigaciones que encontraron moderadas (Cronin y Hansen, 2005) e incluso ausencia de correlación (Harris et al., 2010) entre esas variables. La imprecisión en la determinación de 1RM (González-Badillo y Sánchez-Medina, 2010) junto con las diferencias existentes entre la necesidad de aplicar fuerza a elevada velocidad de contracción por el tiempo limitado existente en el inicio del esprint (100-250 ms) (Mann y Sprague, 1980) y la lentitud en el desplazamiento al movilizar cargas elevadas, podrían explicar la ausencia de relaciones significativas en algunos casos. Sin embargo, en el presente estudio las cargas utilizadas para medir la fuerza fueron movilizadas a mayor velocidad. En concreto la carga con la que se obtuvo la máxima potencia en sentadilla se desplazó próxima a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  mientras que la velocidad de desplazamiento de 1RM en sentadilla completa es  $\sim 0,3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (datos de nuestro laboratorio). La mayor capacidad de aplicación de fuerza ante cargas ligeras (cargas que se desplazan a una velocidad próxima a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ), que reflejaría una mayor potencia, frente a la capacidad de desplazar cargas máximas (1RM), muy dependiente del peso corporal, podría explicar que los sujetos “más potentes” tendieran a rendir más cuando hay que realizar varios esprints seguidos. Además, se ha sugerido que cuando se realizan los movimientos explosivos (movimientos que se realizan con cargas ligeras y a alta velocidad), se alcanza una alta frecuencia de descarga de las unidades motoras empleadas (Behm y Sale, 1993), lo que también tendría un efecto positivo para alcanzar mayores valores de potencia y capacidad de desplazamiento a alta velocidad. Estos argumentos, junto con los riesgos asociados con la determinación y empleo de cargas máximas (1-3RM) sugerirían la reconsideración del empleo de estas cargas máximas en el entrenamiento de fuerza del jugador de fútbol. Previos resultados con el empleo de este tipo de cargas ligeras apoyan esta reconsideración. Tras una intervención de cuatro meses y estando recogido como Estudio 2 de la presente Tesis (López-Segovia et al., 2010) se encontró relación significativa ( $r = 0.642, p \leq 0.05$ ) entre los cambios en la aceleración del futbolista y los cambios en la velocidad de desplazamiento de la barra con cargas próximas a la de máxima potencia en sentadilla (65% 1RM) y el volumen de saltos con carga realizado durante el

periodo de estudio ( $r = 0.642, p \leq 0.05$ ). En esta línea argumental, los resultados de la presente investigación (Tabla 4.3) muestran correlaciones entre los cambios en las distancias medidas en esprint y los cambios en saltos con carga (20–30 kg;  $r = -0.56/-0.79; p \leq 0.05/0.01$ ) y los cambios en la potencia obtenida en sentadilla completa con cargas próximas a la carga de máxima potencia en sentadilla (65% de 1RM;  $r = -0.62/-0.78; p \leq 0.05/0.01$ ).

El rendimiento en fuerza ha mostrado ser decisivo en el rendimiento en esprints repetidos (Méndez-Villanueva et al., 2008). En el presente estudio, las dos variables de potencia en función del peso corporal ( $FSMax_{MP} \cdot kg^{-1}$  y  $CMJ_{20-30-40} \cdot kg^{-1}$ ) presentaron correlación con el índice de resistencia al esprint ( $r = 0.539, p \leq 0.05$  y  $r = 0.591, p \leq 0.05$ , respectivamente). Los jugadores más potentes fueron capaces de esprintar más veces hasta el mismo grado de pérdida de rendimiento y también fueron más rápidos en todas las distancias medidas (Tabla 4.2). Aunque la activación de la musculatura contráctil no fue medida, previos estudios han sugerido que la pérdida de rendimiento en el esprint es explicada por una fatiga selectiva de las fibras rápidas, debido a que éstas se fatigan más fácilmente que las lentas (Barclay et al., 1996). Entre otros factores, este efecto ocurre en secuencias de esprints por las grandes alteraciones metabólicas (Bishop y Spencer, 2004) producidas como consecuencia de cortos periodos de recuperación, como se ha comentado previamente. Sin embargo, si el efecto inhibitorio de la actividad enzimática se reduce debido a un mayor tiempo de recuperación, el rendimiento en secuencias de esprints repetidos ha resultado estar relacionado con la producción de potencia de los miembros inferiores de los deportistas.

## **7.5 Conclusiones.**

Los resultados del presente estudio sugieren que los jugadores con mayor fuerza relativa en sentadilla y salto con carga, dentro del rango de cargas evaluado, presentan un mejor rendimiento tanto en aceleración como en la capacidad de repetir esas aceleraciones con un tiempo de recuperación de dos minutos.

## **7.6 Aplicaciones prácticas.**

Los resultados obtenidos pueden ser empleados para la mejora del rendimiento del jugador de fútbol. El empleo de protocolos relacionados con la pérdida individual del rendimiento del jugador deberían ser más utilizados para medir las diferencias en la capacidad individual del jugador para hacer frente a una secuencia de esprints repetidos, ya que como muestran los resultados, la diferencia en la potencia del jugador, medida con el ejercicio de sentadilla completa, implica diferente grado de fatiga ante el mismo número de esprints efectuados. Este distinto grado de fatiga indicaría que para un mismo número de esprints el entrenamiento realizado (la carga) sería distinta para cada jugador. Por tanto, esta diferencia individual debería ser tenida en cuenta en la prescripción del entrenamiento de esprints y de esprints repetidos. Por último y aunque la relación no implica causalidad, podría ser conveniente el empleo de cargas ligeras y medias a altas velocidades de contracción por parte del futbolista como estrategia de entrenamiento dirigida a la mejora de la aceleración y la capacidad de mantener el rendimiento ante aceleraciones repetidas.

## **8. Estudio 5**

### **Publicación 5**

**Determinant factors of repeat sprint sequences in young soccer players**

**Factores determinantes del rendimiento en secuencias de esprints repetidos en jugadores de fútbol sub-19**

## **8.1 Problemas, objetivos e hipótesis de investigación.**

Las variables aeróbicas relacionadas con la pérdida de rendimiento en secuencias de sprints repetidos en jugadores de fútbol han sido ampliamente analizadas. Esto puede estar justificado por la importancia que se le ha dado a la capacidad de mantener altas velocidades en acciones de alta intensidad y poca duración en el fútbol (Castagna et al., 2007; Rampinini et al., 2009; Da Silva et al., 2010). Pero no hemos encontrado estudios en los que se analice la relación entre la fuerza del jugador y la concentración de metabolitos en sangre, como amonio o lactato y el rendimiento en secuencias repetidas de esfuerzos cortos de alta intensidad. Además, tampoco hemos encontrado estudios que analicen los efectos de estas acciones repetidas sobre el rendimiento en acciones técnicas específicas del jugador de fútbol, como el golpeo a portería o el salto. Por tanto, se plantearon los siguientes problemas de investigación:

### **Problema 1**

¿Cuál es la relación entre esfuerzos repetidos de alta intensidad (RSA), la velocidad máxima del balón en el golpeo, el salto vertical, la respuesta metabólica, la fuerza de las piernas y la resistencia en jugadores de fútbol sub-19?

## **Objetivos**

### **Objetivo 1**

Comprobar la relación entre las pérdidas de velocidad en 40 m y el golpeo de balón y la altura del salto vertical durante nueve secuencias de esfuerzos de alta intensidad con un minuto de recuperación entre unidades de esfuerzo. La secuencia consistió en 40 m de sprint con cambio de dirección a los 20 m, golpeo del balón a portería y salto vertical.

### **Objetivo 2**

Comprobar la relación entre el rendimiento en el test de resistencia YOYO-1 y la pérdida de rendimiento en carrera, salto y golpeo de balón producida por nueve secuencias de esfuerzos (misma secuencia descrita en el objetivo 1).

### **Objetivo 3**

Comprobar la relación entre la fuerza de las piernas, estimada por la carga máxima desplazada a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  en el ejercicio de sentadilla completa, y la pérdida de rendimiento en carrera, salto y golpeo de balón producida por nueve secuencias de esfuerzos (misma secuencia descrita en el objetivo 1).

### **Objetivo 4**

Comprobar la relación entre la concentración de lactato y amonio y la pérdida de rendimiento en carrera, salto y golpeo de balón producida por nueve secuencias de esfuerzos (misma secuencia descrita en el objetivo 1).

### **Objetivo 5**

Comprobar la relación entre las concentraciones de lactato y amonio producidas por nueve secuencias de esfuerzos (misma secuencia descrita en el objetivo 1) y el rendimiento en resistencia (YOYO-1) y fuerza (carga de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ).

## **Hipótesis**

Dado que la aceleración ha mostrado estar relacionada con la capacidad de mantener el rendimiento ante sprints repetidos (Méndez-Villanueva et al., 2011) y que tanto la aceleración (Wisloff et al., 1998) como el salto (López-Segovia et al., 2011) y el golpeo (Asai et al., 2002) son acciones que dependen de la producción de fuerza del jugador y la velocidad de acortamiento muscular, la pérdida de rendimiento en uno de estos tests también debería manifestarse en la misma dirección en los otros. Por tanto, se plantea la siguiente hipótesis.

### **Hipótesis 1**

Existe una relación positiva significativa entre las pérdidas en el rendimiento de 40 m, golpeo y salto durante la repetición de la secuencia de acciones máximas de 40 m, golpeo de balón a portería y salto, con un minuto de recuperación entre secuencias.

El rendimiento en esfuerzos de muy corta duración como carreras de 40 m con cambio de sentido a los 20 m, el salto y el golpeo de manera aislada dependen de factores anaeróbicos y de la participación prioritaria de fibras tipo II. Sin embargo, si se reproduce una secuencia repetida de estos mismos ejercicios con poco tiempo de recuperación entre ellas se produce una participación progresiva de factores aeróbicos (Chamari et al., 1995) con disminución de la vía glucolítica anaeróbica y un incremento en la concentración de metabolitos como el amonio y el lactato, relacionados con el esfuerzo realizado y la fatiga neuromuscular. Por tanto es probable que en una secuencia de esfuerzos aún no analizada como la que aplicamos en nuestro estudio, a medida que se realiza mayor número de secuencias, el rendimiento pase a depender en mayor medida de factores aeróbicos, al mismo tiempo que se manifieste una mayor relación significativa con la presencia de los citados metabolitos. Por tanto, nuestra hipótesis para los objetivos 2, 3, 4 y 5 la siguiente:

### **Hipótesis 2**

La fuerza de las piernas de los jugadores medida a través de la carga desplazada en sentadilla completa a una velocidad de  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , explica mayor proporción de la varianza del rendimiento en las 3-4 secuencias de esprints, saltos y golpeos de balón que en las tres últimas (6-9), mientras que la resistencia medida a través del Yo-Yo test y la concentración de metabolitos tenderán a presentar una mayor relación positiva con el rendimiento conforme el número de secuencias es mayor.

## **8.2 Metodología.**

### **8.2.1 Tipo de investigación.**

Se efectuó un estudio transversal para comprobar la relación entre la capacidad de repetir secuencias de esprints repetidos, la velocidad máxima del balón en el golpeo, la altura del salto vertical, la respuesta metabólica, la fuerza de las piernas y la resistencia en jugadores de fútbol sub-19.



### 8.2.2 Muestra.

La muestra estuvo compuesta por 21 jugadores juveniles de fútbol ( $18.4 \pm 0.8$  años,  $71.9 \pm 6.8$  kg de peso y  $178 \pm 0.07$  cm de altura) que competían en el Grupo X de la Liga Nacional juvenil española. Los jugadores entrenaron cuatro veces por semana en campo (90 min de duración aproximada cada sesión) y jugaron un partido de competición semanal. Los sujetos fueron informados sobre las características y objetivos del estudio, los procedimientos, la libre participación y la posibilidad de dejar en cualquier momento de participar en el mismo. Cada jugador firmó un consentimiento informado antes de iniciar el estudio. La investigación fue aprobada por el Comité Ético de la Universidad Pablo de Olavide de Sevilla.

### 8.2.3 Procedimientos.

Las mediciones se efectuaron al final de la temporada competitiva a lo largo de tres semanas consecutivas. En cada semana se realizó una sesión de medición separada al menos 48 h del partido más reciente, efectuándose los siguientes tests. En la primera sesión se midió, en el siguiente orden: 1) tiempo en recorrer a la máxima velocidad posible 30 m y 40 m (20 m + 20 m con cambio de dirección); 2) altura de salto con contramovimiento (CMJ); 3) máxima velocidad de disparo a portería; 4) test de secuencias repetidas. En la segunda sesión de evaluación los jugadores realizaron un test progresivo con cargas en sentadilla. Por último, en la tercera sesión se realizó el Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 (YYIRT-1). Todas las sesiones de medición se iniciaron con un calentamiento estandarizado dirigido por el investigador preparador físico del equipo. Dos semanas antes del inicio de las mediciones los jugadores realizaron cuatro sesiones de familiarización con la finalidad de asegurar la correcta realización de los ejercicios medidos.

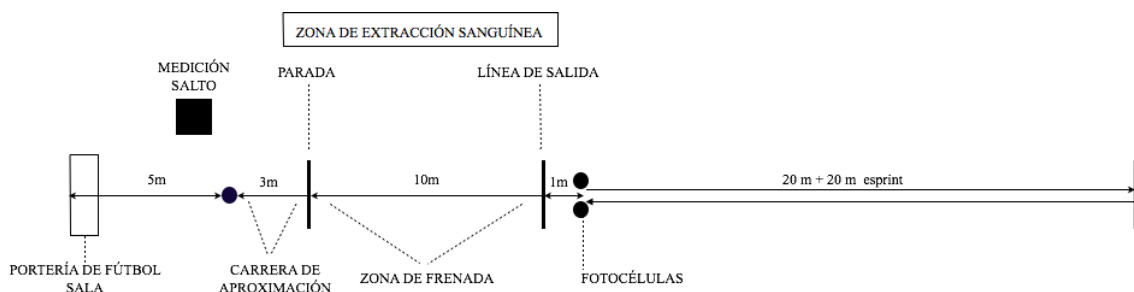
#### Medición de la capacidad de aceleración.

Los jugadores realizaron dos esprints de 30 m en un pabellón cubierto separados por tres minutos de recuperación. El tiempo de cada carrera ( $T_{30}$ ) fue registrado con células fotoeléctricas (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italia) colocadas en la salida y a 30 m de distancia. La posición de salida de los jugadores

fue estandarizada colocando el pie más adelantado un metro por detrás de la línea de salida. A los jugadores se les instruyó para que realizasen la carrera a la máxima velocidad, tomándose el mejor tiempo para el posterior análisis estadístico.

#### Medición de la velocidad de disparo a portería.

Los jugadores realizaron tres golpes de balón a portería con su pierna dominante tras una carrera de aproximación de tres metros con la intención de aplicar la máxima fuerza posible en el golpeo, de manera que el balón se desplazase a la máxima velocidad posible en su trayectoria hacia una diana de un metro de diámetro colocada en el centro de la portería de fútbol sala (Figura 5.1). Se realizaron tres golpes a un balón oficial FIFA, con un minuto de recuperación entre cada golpeo, tomando para el posterior análisis la mayor velocidad (GOLPEO<sub>MAX</sub>) de balón registrada mediante la utilización de un radar (Stalker Sport, Applied Concepts Inc, Texas, EEUU). El radar fue colocado a cinco metros del balón tras la portería de fútbol sala y elevado un metro del suelo. Tras esta medición los jugadores realizaron los saltos con contramovimiento.



**Figura 5. 1.** Esquema de la secuencia de esfuerzos repetidos

#### Medición de la altura de salto.

El protocolo a realizar ha sido detallado en el Estudio 1 con la diferencia de que cada jugador efectuó tres saltos con un minuto de recuperación entre salto tomando el promedio de los tres saltos para el análisis posterior (CMJ<sub>MAX</sub>).

Medición de la capacidad del jugador de repetir secuencias de sprints, velocidad de golpeo del balón y salto vertical.

El test que comprendió esta secuencia se efectuó tres minutos después de realizar el test de CMJ previo, descrito en el anterior apartado. Esta secuencia consistió en la realización de un sprint de 40 m, con cambio de sentido a los 20 m, seguido de un golpeo de balón a portería y de dos saltos verticales con cinco segundos de recuperación entre saltos. Esta secuencia se repitió nueve veces. Entre cada secuencia se permitió un minuto de recuperación. Se registraron el tiempo conseguido en los 40 m, la velocidad de disparo y el promedio de los dos saltos en cada secuencia. A partir de estos datos se obtuvo el mejor tiempo en 40 m ( $ES_{MAX}$ ), el promedio de sprints ( $ES_M$ ), el promedio de los golpes ( $GOLPEO_M$ ) y el promedio de saltos ( $CMJ_M$ ) realizados a lo largo de las nueve secuencias. Cada sprint fue iniciado desde una línea situada un metro por detrás de la salida y los jugadores fueron instruidos para realizar los recorridos de ida y vuelta a la máxima velocidad, golpear lo más fuerte posible al balón con el empeine y saltar lo máximo posible. Además se calculó la media de los tres primeros 40 m ( $ES_{M1-3}$ ), del cuarto, quinto y sexto ( $ES_{M4-6}$ ) y finalmente la media de los tres últimos ( $ES_{M7-9}$ ). La pérdida (%) de rendimiento en el sprint ( $P_{ES}$ ) se calculó mediante la siguiente ecuación:  $(ES_M/ES_{MAX} \times 100) - 100$  (Spencer et al., 2006); mientras que las pérdidas de rendimiento (%) del salto ( $CMJ_P$ ) y el golpeo ( $GOLPEO_P$ ) se calcularon con las siguientes:  $(1 - CMJ_M / CMJ_{MAX}) \times 100$  y  $(1 - GOLPEO_M / GOLPEO_{MAX}) \times 100$  (Spencer et al., 2006). Estas secuencias han mostrado ser fiables ( $CV = 1.0\%$ , [0.7-1.6]) para la obtención de la variable tiempo medio de los sprints repetidos (Impellizzeri et al., 2008) y también al introducir un salto entre cada uno de los sprints realizados ( $CV = 2.9\%$ , [2.1-4.7]).

Medición de la concentración de lactato y amonio.

La concentración de lactato y amonio fue obtenida a partir de extracciones de sangre en el pulpejo del dedo en reposo y tras la tercera, sexta y novena secuencia de esfuerzos repetidos. Para la concentración de lactato se utilizó el analizador portátil Lactate Pro LT-1710 (Arkray, Kyoto, Japón), cuya fiabilidad fue establecida para el rango fisiológico comprendido entre  $1-18 \text{ mmol} \cdot \text{l}^{-1}$  (Pyne et al., 2000). Para

la medición de amonio se utilizó el analizador PocketChem BA PA-4130 (Menarini Diagnostics, Florencia, Italia). Ambos analizadores fueron calibrados antes de su utilización en función de las especificaciones del fabricante.

#### Yo-Yo Intermittent Recovery Test Level 1 (YoYoIRT1-1).

Test progresivo hasta el agotamiento que consiste en la realización de carreras de ida y vuelta entre dos marcas separadas 20 m al ritmo de una señal acústica con diez segundos de recuperación activa (ida y vuelta andando hasta una marca distanciada 5 m de la marca de llegada) entre cada carrera. Los deportistas fueron informados para que realizasen los recorridos de ida y vuelta al ritmo de la señal sonora, terminando el test cuando el jugador no llegase a la marca al ritmo de la señal acústica una segunda vez consecutiva. La distancia total recorrida (m) fue registrada como resultado del test.

Test progresivo de sentadilla con cargas en multipower (González Badillo y Gorostiaga, 1995; González Badillo y Ribas, 2002).

El protocolo utilizado es el mismo que el empleado en los estudios previos con la diferencia de que el medidor utilizado en este estudio fue el sistema dinámico de medición T-Force System (Ergotech, Murcia, España; estudio de fiabilidad previamente realizado en Sánchez-Medina y González-Badillo, 2011) con el que se obtuvieron los datos de velocidad instantánea con cada carga empleada a una frecuencia de 1000 Hz. La carga que los jugadores desplazaron a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  ( $V_{1\text{-carga}}$ ) fue utilizada como variable representativa de la fuerza del jugador. Esta carga fue elegida porque previamente la potencia máxima en sentadilla se había encontrado que se alcanza con una carga del 64% de la RM y a una velocidad próxima a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  (González-Badillo, 2000), y que estos valores también se daban en futbolistas.

#### 8.2.4 Análisis estadístico.

Los datos son presentados como media  $\pm$  desviación estándar. La distribución de cada variable fue examinada con el test de normalidad Shapiro-Wilk. La homogeneidad de la varianza fue verificada por medio del test de Levene. Para calcular las relaciones entre las variables de estudio se utilizó el coeficiente de regresión lineal de Pearson ( $r$ ) con el intervalo de confianza situado en el 90%. Se

aplicaron correlaciones parciales cuando se consideró necesario ( $r_{pc}$ ). Para analizar la fiabilidad se utilizó el coeficiente de correlación intraclase (CCI) (IC=95%) y el coeficiente de variación (CV). El nivel de significación fue establecido en  $p \leq 0.05$ . El software estadístico empleado fue SPSS 17.0 (SPSS, Chicago, IL).

### 8.3 Resultados.

La Tabla 5.1 muestra los resultados de las variables medidas. La fiabilidad test-retest obtenida para  $T_{30}$ ,  $CMJ_{MAX}$  y  $GOLPEO_{MAX}$  calculada mediante CV fue 1.1, 2.2 y 4.1% respectivamente, mientras que el CCI fue 0.905 [0.770-0.961], 0.988 [0.976-0.995] y 0.829 [0,649-0,920], respectivamente.

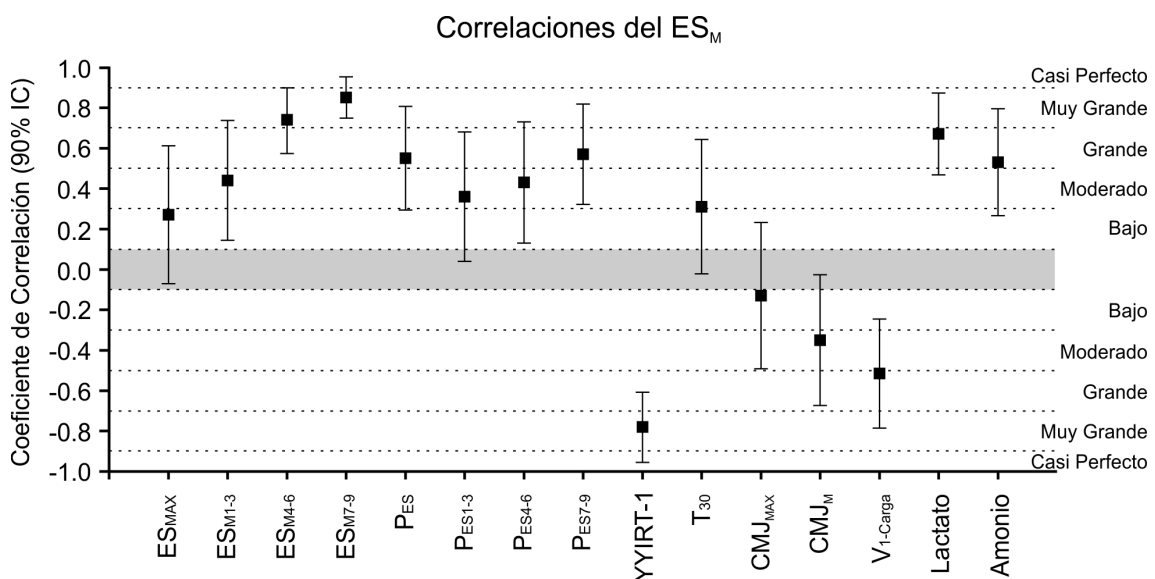
**Tabla 5.1** Valores obtenidos en las variables evaluadas (media  $\pm$  DE)

$ES_{MAX(S)}$	$ES_M(S)$	$ES_{M1-3(S)}$	$ES_{M4-6(S)}$	$ES_{M7-9(S)}$	Lactato (mmol·l <sup>-1</sup> )	Amonio ( $\mu$ mol·l <sup>-1</sup> )
7.10 $\pm$ 0.20	7.54 $\pm$ 0.20	7.26 $\pm$ 0.20	7.61 $\pm$ 0.28	7.83 $\pm$ 0.40	15.0 $\pm$ 2.6	181.6 $\pm$ 46.5
$P_{ES}$ (%)	$P_{ES1-3}$ (%)	$P_{ES4-6}$ (%)	$P_{ES7-9}$ (%)	$V_{1-carga}$ (kg)	YYIRT-1 (m)	$T_{30}$ (s)
5.8 $\pm$ 3.1	1.8 $\pm$ 1.1	7.3 $\pm$ 5.4	9.5 $\pm$ 6.7	60.3 $\pm$ 9.8	1760 $\pm$ 329	4.21 $\pm$ 0.11
$CMJ_{MAX}$ (cm)	$CMJ_M$ (cm)	$CMJ_P$ (%)	$GOLPEO_{MAX}$ (km·h <sup>-1</sup> )	$GOLPEO_M$ (km·h <sup>-1</sup> )	$GOLPEO_P$ (%)	
35.3 $\pm$ 4.1	28.2 $\pm$ 3.1	17.6 $\pm$ 6.0	97.5 $\pm$ 5.6	89.6 $\pm$ 5.2	7.9 $\pm$ 4.7	

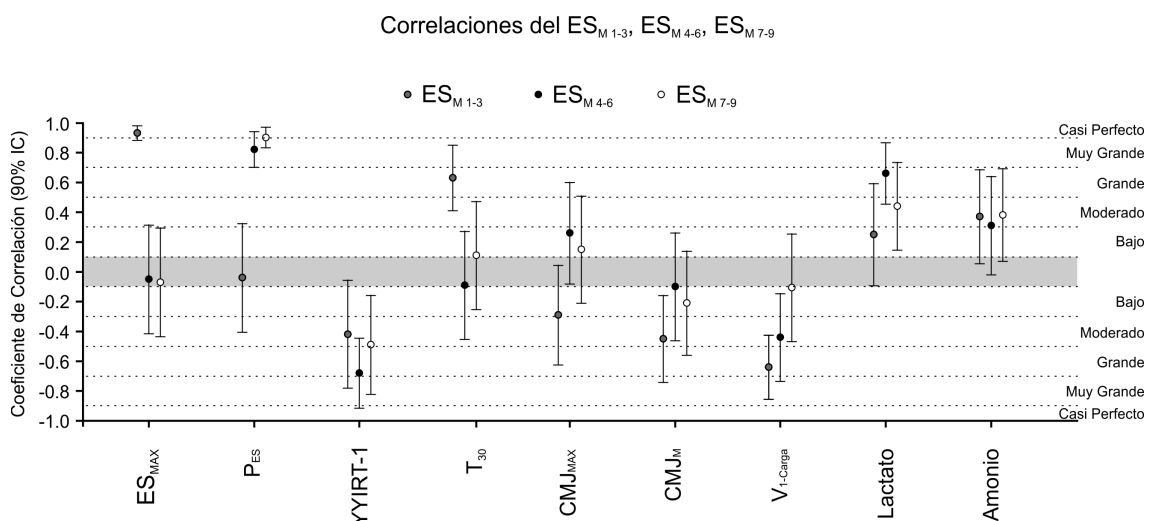
$ES_M$ ,  $ES_{M1-3}$ ,  $ES_{M4-6}$ ,  $ES_{M7-9}$ : tiempo medio de los nueve esprints de 40 m, de los 3 primeros, del 4º al 6º y del 7º al 9º, respectivamente.  $ES_{MAX}$ : mejor tiempo de los nueve esprints de 40 m.  $P_{ES}$ ,  $P_{ES1-3}$ ,  $P_{ES4-6}$ ,  $P_{ES7-9}$ : descenso de rendimiento porcentual en el tiempo en 40 m tras los nueve esprints, después de los tres primeros, del 4º al 6º y los tres últimos.  $V_{1-carga}$ : carga que los jugadores desplazaron  $\sim 1.00$  m·s<sup>-1</sup> en sentadilla. YYIRT-1: test Yo-Yo Intermittent Recovery Nivel 1.  $T_{30}$ : mejor tiempo en 30 m esprint;  $CMJ_{MAX}$ : altura de salto con contramovimiento sin fatiga.  $CMJ_M$ : media de los nueve saltos efectuados durante el test de secuencias repetidas.  $CMJ_P$ : pérdida porcentual de rendimiento en el salto a lo largo de las nueve secuencias.  $GOLPEO_{MAX}$ : máxima velocidad de golpeo sin fatiga.  $GOLPEO_M$ : media de la velocidad de golpeo obtenida a partir de los nueve disparos efectuados en el test de secuencias repetidas.

$ES_M$  presentó correlación significativa con  $P_{ES}$  ( $r = 0.55$  [0.29, 0.81],  $p \leq 0.05$ ),  $V_{1-carga}$  ( $r = -0.52$  [-0.79, -0.25],  $p \leq 0.05$ ), concentración de lactato ( $r = 0.67$  [0.47, 0.87],  $p \leq 0.01$ ) y amonio ( $r = 0.53$  [0.27, 0.79],  $p \leq 0.05$ ) Figura 5.2.

ES<sub>MAX</sub> presentó correlación positiva y significativa con ES<sub>M1-3</sub> ( $r = 0.93 [0.88, 0.98]$ ,  $p \leq .001$ ) (Figura 5.3) y negativa con diferentes medidas relacionadas con la pérdida de rendimiento en el test de secuencias repetidas ( $P_{ES1-3}$ :  $r = -0.41 [-0.72, -0.10]$ ,  $p = 0.11$ ;  $P_{ES4-6}$ :  $r = -0.61 [-0.84, -0.38]$ ,  $p \leq .05$ ;  $P_{ES7-9}$ :  $r = -0.50 [-0.78, -0.22]$ ,  $p = 0.06$ ). ES<sub>MAX</sub> presentó correlación significativa con el mejor salto, el valor promedio de éstos, T<sub>30</sub> (CM)<sub>MAX</sub>:  $r = -0.74 [-0.91, -0.57]$ ,  $p \leq .001$ ; CM)<sub>M</sub>:  $r = -0.48 [-0.76, -0.20]$ ,  $p \leq 0.05$ ; T<sub>30</sub>:  $r = 0.79 [0.65, 0.93]$ ,  $p \leq .001$ ) y V<sub>1-carga</sub> ( $r = -0.76 [-0.92, -0.61]$ ,  $p \leq 0.01$ ). GOLPEO<sub>p</sub> presentó correlación significativa con P<sub>ES</sub> ( $r = 0.86 [0.76, .096]$ ,  $p \leq 0.001$ ).



**Figura 5. 2** Correlaciones entre ES<sub>M</sub> y el resto de variables medidas.



**Figura 5. 3** Correlaciones entre ES<sub>M1-3</sub>, ES<sub>M4-6</sub>, ES<sub>M7-9</sub> y el resto de variables

En cuanto a las variables condicionales representativas de la resistencia y la fuerza del futbolista, YYIRT-1 presentó correlación significativa con la concentración de amonio ( $r = -0.63 [-0.85, -0.41]$ ,  $p \leq 0.05$ ), mientras que  $V_{1\text{-carga}}$  presentó correlación significativa con  $CM]_{MAX}$  ( $r = 0.54 [0.28, 0.80]$ ,  $p \leq 0.05$ ),  $T_{30}$  ( $r = -0.51 [-0.78, -0.24]$ ,  $p \leq 0.05$ ) y  $ES_{M1-3}$  ( $r = -0.64 [-0.86, -0.42]$ ,  $p \leq 0.01$ ). Por último,  $CM]_M$  presentó correlación significativa con la concentración de metabolitos en sangre (lactato:  $r = -0.54 [-0.80, -0.28]$ ,  $p \leq 0.05$  y amonio:  $r = -0.66 [-0.87, -0.45]$ ,  $p \leq 0.01$ ). Las correlaciones parciales obtenidas en función del peso corporal del futbolista se muestran en la Tabla 5.2.

#### **8.4 Discusión.**

Este estudio es el primero en el que se han descrito las relaciones entre la capacidad del jugador de fútbol de repetir secuencias de esfuerzos repetidos de alta intensidad, incluyendo esprints, acciones técnicas específicas como el salto y el golpeo de balón, la fuerza, la resistencia y la respuesta metabólica aguda. Como resultado a destacar se encontró que el rendimiento en las primeras secuencias (1-3) fue explicado principalmente por la fuerza y la capacidad de aceleración del futbolista, mientras que conforme el número de secuencias aumentó (a partir de la cuarta), el rendimiento estuvo más relacionado con la resistencia del futbolista.

Un importante y específico resultado encontrado en este estudio fue que existe una casi perfecta correlación ( $r = 0.93 [0.88, 0.98]$ ,  $p \leq 0.001$ ) entre  $ES_{MAX}$  y  $ES_{M1-3}$ , relación que descendió y dejó de ser significativa en  $ES_{M4-6}$  ( $r = -0.05 [-0.42, 0.62]$ ) y  $ES_{M7-9}$  ( $r = -0.07 [-0.44, 0.30]$ ). Estos resultados podrían deberse a que el rendimiento en los primeros esprints puede ser explicado por la propia capacidad de aceleración puesto que no hay una excesiva pérdida de rendimiento ( $P_{ES1-3} = 1.8\%$ ), mientras que a partir de la cuarta secuencia esta pérdida es cuatro veces mayor (Tabla 5.1) con valores similares a los encontrados en otros estudios (Da Silva et al., 2010; Dupont et al., 2010), apareciendo otros factores determinantes del rendimiento como la capacidad de aportación de energía por la vía aeróbica (Dupont et al., 2010). Es probable que la menor relación encontrada entre  $ES_{MAX}$  y

**Tabla 5.2** Matriz de correlaciones entre el rendimiento en el test de secuencias de esfuerzos repetidos, salto, golpeo a portería y variables condicionales y metabólicas controlando el peso corporal a través de correlaciones parciales.

	<b>ES<sub>MAX</sub></b>	<b>P<sub>ES</sub></b>	<b>CMJ<sub>MAX</sub></b>	<b>CMJ<sub>M</sub></b>	<b>GOLPEO<sub>MAX</sub></b>	<b>GOLPEO<sub>M</sub></b>	<b>YYIRT-1</b>	<b>V<sub>1-carga</sub></b>	<b>Lactato</b>	<b>Amonio</b>
<b>ES<sub>M</sub></b>	0.39 [0.04,0.74]	0.46 [0.14,0.78]	-0.32 [-0.69,0.05]	-0.41 [-0.75,-0.07]	0.39 [0.04,0.74]	0.08 [-0.33,0.49]	-0.78 [-0.94,-0.62]**	-0.54 [-0.83,-0.25]	0.30 [-0.07,0.67]	0.71 [0.51,0.91]*
<b>ES<sub>MAX</sub></b>		-0.61 [-0.87,0.35]*	-0.46 [-0.78,-0.14]	-0.33 [-0.70,0.04]	0.31 [-0.06,0.78]	0.58 [0.31,0.85]	-0.50 [-0.81,-0.19]	-0.55 [-0.84,-0.26]	0.50 [0.19,0.81]	0.25 [-0.14,0.64]
<b>P<sub>ES</sub></b>			0.17 [-0.23,0.57]	-0.01 [-0.42,0.40]	-0.07 [-0.48,0.34]	-0.58 [-0.85,-0.31]	-0.21 [-0.60,0.18]	0.12 [-0.29,0.53]	-0.22 [-0.61,0.17]	0.35 [-0.01,0.71]
<b>CMJ<sub>MAX</sub></b>				0.90 [0.82,0.98]***	-0.29 [-0.67,0.09]	-0.25 [-0.64,0.14]	0.65 [0.41,0.89]*	0.08 [-0.33,0.49]	-0.49 [-0.80,-0.18]	-0.68 [-0.90,-0.46]**
<b>CMJ<sub>M</sub></b>					-0.10 [-0.51,0.31]	-0.03 [-0.44,0.38]	0.69 [0.47,0.91]*	-0.09 [-0.50,0.32]	-0.70 [-0.91,-0.49]*	-0.81 [-0.95,-0.67]**
<b>GOLPEO<sub>MAX</sub></b>						0.82 [0.69,0.95]**	-0.32 [-0.69,0.05]	-0.57 [-0.85,-0.29]	0.04 [-0.37,0.45]	0.32 [-0.05,0.69]
<b>GOLPEO<sub>M</sub></b>							-0.07 [-0.48,0.34]	-0.48 [-0.80,-0.16]	0.19 [-0.21,0.59]	0.04 [-0.37,0.45]
<b>YYIRT-1</b>								0.27 [-0.11,0.65]	-0.58 [-0.85,-0.31]	-0.75 [-0.93,-0.57]**
<b>V<sub>1-carga</sub></b>									0.19 [-0.21,0.59]	-0.21 [-0.1760,0.18]
<b>Lactato</b>										0.56 [0.28,0.84]

ES<sub>M</sub>: tiempo medio de los nueve esprints de 40 m; ES<sub>MAX</sub>: mejor tiempo de los nueve esprints de 40 m; P<sub>ES</sub>: descenso de rendimiento porcentual en el tiempo en 40 m tras el test de secuencias repetidas; CMJ<sub>MAX</sub>: altura de salto con contramovimiento sin fatiga; CMJ<sub>M</sub> media de los saltos efectuados en el test de secuencias repetidas; GOLPEO<sub>MAX</sub>: máxima velocidad de golpeo sin fatiga; GOLPEO<sub>M</sub>: media de la velocidad de golpeo obtenida a partir de los nueve disparos efectuados en el test de secuencias repetidas; YYIRT-1: Yo-Yo Intermittent Recovery Test NIVEL 1; V<sub>1-carga</sub>: carga que los jugadores desplazaron ~1.00 m·s<sup>-1</sup> en función de su peso corporal en sentadilla; \*  $p \leq 0.05$ . \*\*  $p \leq 0.01$ . \*\*\*  $p \leq 0.001$ .



ES<sub>M4-6</sub> y ES<sub>M7-9</sub> sea responsable de la inexistencia de correlación entre ES<sub>MAX</sub> y ES<sub>M1-9</sub>, existiendo controversia en los trabajos publicados a la hora de encontrar relación entre el mejor rendimiento y el rendimiento medio en una secuencia de esprints y coincidiendo con nuestros resultados, Dupont et al. (2005) no encontraron correlación entre el mejor rendimiento en una secuencia de esprints y el rendimiento medio, mientras que otros estudios sí encontraron correlación entre estas variables (Pyne et al., 2008; Chaouachi et al., 2010; Da Silva et al., 2010). Cabe destacar que estos trabajos en los que se encuentra correlación entre el mejor rendimiento y el rendimiento medio fueron efectuados con menor distancia recorrida en esprint (180-240 vs. 360 m en nuestro caso) y número de series (6-7 vs. 9 en nuestro caso), por lo que la ausencia de relación encontrada en nuestro estudio probablemente fue debida a que un mayor número de distancia esprintada y número de esprints puede incrementar la contribución de la fosforilación oxidativa a la producción total de energía (Dupont et al., 2005; Dupont et al., 2010), descendiendo por tanto la importancia del mejor tiempo (ES<sub>MAX</sub>) en el rendimiento medio (ES<sub>M</sub>).

Al igual que en estudios previos (Bishop et al., 2003; Castagna et al., 2007; Méndez-Villanueva et al., 2008), ES<sub>MAX</sub> y la pérdida de rendimiento P<sub>ES</sub> ( $r = -0.61$  [-0.87, 0-.35],  $p \leq 0.05$ ). Este hecho podría deberse a la mayor capacidad de los jugadores rápidos de emplear sus depósitos de PCr en comparación con los jugadores lentos (Bassett y Howley, 2000). ES<sub>M</sub> presentó correlación con P<sub>ES</sub> ( $r = 0.55$  [0.29, 0.81],  $p \leq 0.05$ ), en concordancia con estudios previos (Dupont et al., 2005; Pyne et al., 2008). Además, el análisis efectuado cada tres secuencias mostró que las relaciones entre ES<sub>M</sub> y P<sub>ES1-3</sub> ( $r = 0.36$ , [0.04, 0.68],  $p = 0.16$ ), P<sub>ES4-6</sub> ( $r = 0.43$ , [0.13, 0.73],  $p = 0.09$ ) y P<sub>ES7-9</sub> ( $r = 0.57$ , [0.32, 0.82],  $p \leq 0.05$ ) se incrementaron conforme el número de esprints aumentó, confirmando nuestra hipótesis de inicio: el rendimiento en secuencias de esfuerzos repetidos de alta intensidad está más relacionado con el rendimiento en resistencia conforme aumenta el número de esprints.

De igual manera que en estudios previos (Wisloff et al., 2004; López-Segovia et al., 2011), la fuerza presentó correlación con la capacidad de salto y aceleración, pero

cabe destacar como uno de los resultados más importantes del presente estudio la correlación encontrada entre  $V_{1\text{-carga}}$  y  $ES_{MAX}$  ( $r = -0.76$  [-0.92, -0.61],  $p \leq 0.05$ ),  $ES_{M1-3}$  ( $r = -0.64$  [-0.86, -0.42],  $p \leq 0.05$ ) y  $ES_M$  ( $r = -0.52$  [-0.79, -0.25],  $p \leq 0.05$ ), correlación que tiende a descender en los parciales  $ES_{M4-6}$  ( $r = -0.44$  [-0.74, 0.14],  $p = 0.10$ ) y  $ES_{M7-9}$  ( $r = -0.11$  [-0.47, 0.26],  $p = 0.68$ ). Esta relación entre  $V_{1\text{-carga}}$  y la capacidad de repetir esprints ha sido previamente observada en uno de los estudios que componen la presente Tesis (López-Segovia et al., 2014). En este trabajo, la carga con la que se obtuvo la máxima potencia media en sentadilla completa ( $\sim V_{1\text{-carga}}$ ), con el mismo protocolo que el empleado en el presente estudio, presentó correlación ( $r = -0.539$ ,  $p \leq 0.05$ ) con la capacidad de mantener el rendimiento en un protocolo de esprints repetidos de 40 m en línea con dos minutos de recuperación entre cada esprint. En esta línea de investigación, estudios previos centraron su atención en la influencia del entrenamiento de fuerza para mejorar el rendimiento en secuencias de esprints repetidos (Hill-Haas et al., 2007; Edge et al., 2011). Sin embargo, aunque  $V_{1\text{-carga}}$  presentó correlación con todos los esprints, en el análisis más detallado efectuado cada tres esprints esta correlación descendió conforme aumentaba el número de esprints efectuados, del mismo modo que ocurrió con la relación entre  $ES_{MAX}$  y  $ES_M$ . Por tanto, los resultados del presente estudio sugieren que la fuerza de los miembros inferiores del jugador de fútbol, representada por la capacidad de aceleración y la magnitud de  $V_{1\text{-carga}}$ , explica parte del rendimiento en  $ES_{MAX}$  y  $ES_{M1-3}$ , pero no en  $ES_{M4-6}$  y  $ES_{M7-9}$ . Estas relaciones confirmarían la hipótesis inicial planteada: la influencia de la fuerza desciende conforme aumenta el número de esprints realizados.

En cuanto a la concentración de metabolitos en sangre, se encontró correlación entre  $ES_M$  y la concentración de lactato y amonio ( $r = 0.53$  [0.27, 0.79],  $p \leq 0.05$ ) (Figura 5.2). Además,  $CM]_M$  mostró correlación negativa significativa con ambos (lactato:  $r = -0.54$  [-0.80, -0.28],  $p \leq 0.05$ ; amonio:  $r = -0.66$  [-0.87, -0.45],  $p \leq 0.01$ ). Rampinini et al. (2009) también encontraron que los futbolistas que obtuvieron mejor rendimiento en una secuencia de esprints repetidos alcanzaron concentraciones de lactato inferiores en sangre ( $r = -0.66$ ). Aunque las diferencias entre los protocolos utilizados (10 x 10 segundos de carrera a  $18 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  con 20 segundos de recuperación andando a  $5 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$  entre cada carrera) dificultan la

comparación con nuestros datos, los resultados muestran relación negativa entre el rendimiento en esprints repetidos y la concentración de lactato en sangre. Este hecho podría ser explicado porque los sujetos con mejor rendimiento en estas pruebas podrían tener una mayor capacidad tampón o de amortiguamiento de altos niveles de lactato en sangre (Rampinini et al., 2009). Con respecto a la concentración de amonio, no se encontró en la revisión efectuada ningún estudio que analizase la respuesta aguda de este metabolito ante este tipo de secuencias. La relación encontrada en nuestro estudio sugiere que el descenso de la disponibilidad de ATP o PCr podría limitar el rendimiento en secuencias de esfuerzos repetidos de alta intensidad, ya que el incremento en la concentración de amonio en sangre es interpretado como un indicador de la degradación neta de nucleótidos de adenina en el músculo (Bogdanis et al., 1995).

El rendimiento aeróbico del futbolista, medido por medio del test YYIRT-1, presentó correlación significativa con  $ES_M$  y  $CMJ_M$  cuando se controló el peso del jugador a través de una correlación parcial (Tabla 5.2). Esta variable ha sido destacada como responsable de parte del rendimiento en este tipo de secuencias de esfuerzos repetidos al mostrar fuertes correlaciones con las pérdidas de rendimiento antes y después del entrenamiento (Serpiello et al., 2011). Además, la contribución energética aeróbica podría ser mayor cuando las secuencias son largas y numerosas y se alternan con breves periodos de recuperación (Dupont et al., 2010). Como consecuencia, en esfuerzos prolongados como el realizado en el presente estudio (nueve esprints de 7.54 segundos de duración media) con intervalos de recuperación de un minuto, la contribución aeróbica podría contribuir a una mayor restauración de los niveles de ATP y PCr (Tesch et al., 1985). Este efecto podría venir ratificado por la correlación negativa encontrada entre la concentración de amonio y YYIRT-1 ( $r_{pc} = -0.75 [-0.91, -0.59]$ ,  $p \leq 0.05$ ).

La relación entre la capacidad de repetir esprints y repetir acciones técnicas específicas de un deporte ha sido poco investigada. Un trabajo previo examinó la influencia causada por la inclusión de un salto durante secuencias de esprints repetidos. En este estudio (Bucheitt et al., 2010), al igual que en el presente,  $ES_{MAX}$  presentó correlación con  $CMJ_{MAX}$  ( $r = -0.54$ ), pero además  $ES_M$  presentó correlación

con  $CM_{JM}$  ( $r = -0.58$ ), correlación que en nuestro estudio no encontramos ( $r = -0.35$ ,  $p = 0.17$ ). Esta discrepancia podría explicarse por la mayor fatiga producida en nuestro estudio debido probablemente a dos factores: primero al hecho de realizar además de un salto también un disparo a portería entre cada esprint, y segundo a que en nuestro estudio cada esprint fue de 40 m frente a los 25 m que recorrieron los deportistas en el estudio de Bucheitt et al. (2010). Esta fatiga además puede apreciarse en los mayores valores encontrados en nuestro estudio de pérdida de altura en el salto (17.6 vs. 11.8%), concentración de lactato (15 vs. 10.4 mmol·l<sup>-1</sup>) y de pérdida de rendimiento en el esprint (5.8 vs. 3.4%).

La velocidad del balón tras ser golpeado a portería no mostró relación con ninguna de las variables medidas. Este resultado podría explicarse por el hecho de que esta acción técnica es muy diferente al salto y al esprint. Sin embargo, parece que la fatiga influye en el golpeo del mismo modo que lo hace en el esprint y en el salto, como muestran las correlaciones encontradas entre  $GOLPEO_P$  y  $P_{ES}$  ( $r = 0.86$  [0.76, 0.96],  $p \leq 0.001$ ) y golpeo y  $CM_{JP}$  ( $r = 0.50$  [0.22, 0.78],  $p \leq 0.05$ ). En la revisión efectuada no encontramos ningún estudio que analizase el efecto agudo producido por una secuencia de sprints repetidos en la velocidad de disparo a puerta. Sólo hemos encontrado un trabajo previo que estudió el efecto sobre esta variable de la realización de un ejercicio intermitente simulando las características de un partido de fútbol (Kellis et al., 2006), aunque los autores no analizaron las posibles relaciones existentes entre la velocidad de disparo a puerta y el resto de variables.

## **8.5 Conclusiones.**

Como conclusión, los resultados del presente estudio sugieren que la fuerza del futbolista, representada por la aceleración y la magnitud de  $V_{1-carga}$ , explica una notable variabilidad del rendimiento en las primeras secuencias de esfuerzos repetidos de alta intensidad, mientras que su influencia desciende conforme incrementa el número de secuencias realizadas. De manera inversa, la capacidad aeróbica del jugador tomará importancia en el rendimiento en estas acciones conforme el número de secuencias va incrementándose. Además, las

concentraciones de lactato y amonio son indicadores de un menor rendimiento medio en este tipo de secuencias repetidas.

### **8.6 Aplicaciones prácticas.**

Estos resultados pueden contribuir al aumento del conocimiento relacionado con la repetición de acciones específicas del fútbol como son el sprint, el salto y el disparo. Las secuencias repetidas de sprints y acciones técnicas deben ser utilizadas para el control de la condición física y hacer un seguimiento de la habilidad de los deportistas de equipo para realizar repetidas acciones a máxima intensidad propias de su deporte como lo son en este caso el sprint, el disparo y el salto.

## **9. Conclusiones generales**

En base a los resultados obtenidos podemos concluir que el entrenamiento de fuerza prescrito en función de la velocidad de desplazamiento de la carga en sentadilla, realizado con cargas movilizadas a una velocidad próxima a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  y a la máxima velocidad posible, puede mejorar los niveles de aplicación de fuerza del jugador de fútbol y ser un factor determinante en la mejora de la capacidad de aceleración del jugador. Sin embargo, estas mejoras importantes para el rendimiento del futbolista, pueden verse disminuidas por la probable interferencia del alto volumen de entrenamiento aeróbico propio del entrenamiento del jugador en campo.

La potencia obtenida con estas cargas ligeras y medias en los ejercicios de sentadilla y salto con carga también han mostrado significativas relaciones con el rendimiento en 30 m. En esta misma línea, los jugadores con mayor fuerza relativa en salto con carga y en sentadilla completa con la carga movilizada próxima a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  presentaron mejor rendimiento en aceleración y en la capacidad de repetir estas aceleraciones.

Por último, aunque también en la línea de la importancia del rendimiento en fuerza con cargas ligeras y medias para el rendimiento en aceleración, la fuerza del futbolista representada por la aceleración y la magnitud de la carga movilizada a  $1 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$  explica una notable variabilidad del rendimiento en las primeras secuencias de esfuerzos repetidos. Esta influencia desciende conforme se incrementa el número de secuencias realizadas, tomando importancia para el rendimiento la capacidad aeróbica del futbolista. Además, un menor rendimiento medio en estas secuencias repetidas está relacionado con mayores concentraciones de lactato y amonio.

## 10. Referencias Bibliográficas

- Ali, A., y Farrally, M. (1991). A computer-video aided time-motion analysis technique for match analysis. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 31(1), 82-88.
- Akubat, I., Patel, E., Barret, S., y Abt, G. (2012). Methods of monitoring the training and match load and their relationship to changes in fitness in professional youth soccer players. *Journal Sports Sciences*, 30(14), 1473-1480.
- Arnason, A., Sigurdsson, S., Gudmundsson, A., Holme, I., Engebretsen, L., y Bahr, R. (2004). Physical fitness, injuries, and team performance in soccer. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 278-285.
- Asai, T., Carré, M.J., Akatsuka, T., y Haake, S.J. (2002). The curve of kick of a football I: Impact with the foot. *Sports Engineering*, 5, 183-192.
- Atkinson, G., y Nevill, A.M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Medicine*, 26(4), 217-238.
- Aziz, A. R., Frankie, H. Y., Teh, T. C., y Teh, K. C. (2005). A pilot study comparing two field-tests with the treadmill run test in soccer players. *Journal of Sports Science and Medicine*, 4(2), 105-112.
- Baker, D., y Nance, S. (1999). The relationship between running speed and measures of strength and power in professional rugby league players. *Journal Strength and Conditioning Research*, 13, 230-235.
- Baldari, C., Bonavolontá, V., Emerenziani, G.P., Gallotta, M.C., Silva, A.J. y Guidetti, L. (2009). Accuracy, reliability, linearity of Accutrend and Lacate Pro versus EBIO plus analyzer. *European Journal Applied Physiology*, 107(1), 105-111.
- Balsom, P.D., Seger, J.Y., Sjodin, B., y Ekblom, B. (1992). Maximal-intensity intermittent exercise: effect of recovery duration. *International Journal Sports Medicine*, 13(7), 528-533.

- Bangsbo, J. (1994) The physiology of soccer with special reference to intense intermittent exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 155:(Supl. 619),1-155.
- Bangsbo, J. (1997). The physiology of intermittent activity in football. En T. Reilly, A. Lees, K. Davids, W. J. Murphy (Ed.), *Science and football III* (pp. 43-53). Londres: E & FN Spon.
- Bangsbo, J., y Mohr, M. (2005). Variation in running speed and recovery time after a sprint during top class soccer matches. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 37, 87-93.
- Barclay, C.J. (1996). Mechanical efficiency and fatigue of fast and slow muscles of the mouse. *Journal Physiology*, 497, 781-794.
- Barnes, C., Archer, D.T., Hogg, B., Bush, M., y Bradley, P.S. (2014). The evolution of physical and technical performance parameters in the English Premier League. *International Journal Sports Medicine*, 35(13), 1095-1100.
- Barnes, K.R., y Kilding, A.E. (2015). Strategies to improve running economy. *Sports Medicine*, 45(1), 37-56.
- Barros, R. M. L., Misuta, M. S., Menezes, R. P., Figueroa, P. J., y Felipe, A. (2007). Analysis of the distances covered by first division brazilian soccer players obtained with an automatic tracking method. *Journal of Sports Science and Medicine*, 6(2), 233-242.
- Bassett, D.R., y Howley E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 32(1), 70-84.
- Behm, D.G., y Sale D.G. (1993). Velocity specificity of resistance training. *Sports Medicine*, 15(6), 374-388.
- Bell, G.J, Syrotuik, D., Martin, T.P., Burnham, R., y Quinney, H.A. (2000). Effect on concurrent strength and endurance training on skeletal muscle properties and hormone concentrations in humans. *European Journal Sports Science*, 81, 418:427.



- Berthoin, S., Gerbeaux, M., Turpin, E., Guerrin, F., Lensele-Corbeil, G., y Vandendorpe, F. (1994) Comparison of two field tests to estimate maximum aerobic speed. *Journal Sports Science*, 12(4), 355-362.
- Billat, V. (2002). *Fisiología y metodología del entrenamiento. De la teoría a la práctica*. Barcelona: Paidotribo.
- Bishop, D., Lawrence, S., y Spencer, M. (2003). Predictors of repeated-sprint ability in elite female hockey players. *Journal of Science Medicine in Sport*, 6, 199-209.
- Bishop, D., y Spencer, M. (2004). Determinants of repeated sprint ability in well trained team sport athletes and endurance trained athletes. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 44, 1-7.
- Bloomfield, J., Jonsson, G., Polman, R., Houlahan, K., y O'Donoghue, P. G. (2005). Temporal patterns analysis and its applicability in soccer. En L. Anolli, S. Duncan Jr., M. S. Magnusson y G. Riva (Ed.). *The Hidden Structure of Interaction: From neurons to culture patterns*. Amsterdam: IOS Press.
- Bloomfield, J., Polman, R. C. J., y O'Donoghue, P. G. (2007). Reliability of the Bloomfield Movement Classification. *International Journal of Performance Analysis of Sports-e*, 7, 20-27.
- Bogdanis, G.C., Nevill, M.E., Boobis, L.H., Lakomy, H.K., y Nevill, A.M. (1995). Recovery of power output and muscle metabolites following 30s of maximal sprint cycling in man. *Journal of Physiology*, 482, 467-480.
- Bradley, P.S., Carling, C., Archer, D., Roberts, J., Doods, A., Di Mascio M., Paul, D., Diaz, A. G., Peart, D., y Krustup, P. (2011). The effect of playing formation on high-intensity running and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal Sports Science*, 29(8), 821-830.
- Bradley, P.S., Carling, C., Gómez-Díaz, A., Hood, P., Barnes, C., Ade, J., Boddy, M., Krustup, P., y Mohr, M. (2013). Match performance and physical capacity of players in the top three competitive standards of English professional soccer. *Human Movement Science*, 32(4), 808-821.

- Bradley, P.S., Lago-Peñas, C., Reu E., Gómez-Díaz, A. (2013). The effect of high and low percentage ball possession on physical and technical profiles in English FA Premier League soccer matches. *Journal Sports Science*, 31(12), 1261-1270.
- Bradley, P.S., Sheldon, W., Wooster, B., Olsen, P., Boanas, P., y Krusturup P. (2009). High-intensity running in English FA Premier League soccer matches. *Journal Sports Science*, 15(27), 159-168.
- Buchheit, M., Allen, A., Poon, T.K., Modonutti, M., Gregson, W., y Di Salvo, V. (2014). Integrating different tracking systems in football: multiple camera semiautomatic system, local position measurement and GPS technologies. *Journal Sports Science*, 32(20), 1844-1857.
- Buchheit, M., Méndez-Villanueva, A., Simpson, B.M. y Bourdon, P.C. (2010). Match running performance and fitness in youth soccer players. *International Journal Sports Medicine*, 31(11), 818-825.
- Casamichana, D., Castellano, J., y Castagna, G. (2012). Comparing the physical demands of friendly matches and small-sided games in semiprofessional soccer players. *Journal Strength and Conditioning Rresearch*, 26(3), 837-843.
- Castagna, C., Impellizzeri, F. M., Chamari, K., Carlomagno, D. y Rampinini, E. (2006). Aerobic fitness test and yo-yo continuous and intermittent tests performance in soccer players: a correlation study. *Journal Strength and Conditionig Research*, 20(2), 320-325.
- Castagna C., Manzi V., D'Ottavio S., Annino G., Padua E., y Bishop D. (2007). Relationship between maximal aerobic power and the ability to repeat sprints in young basketball players. *Journal Strength Conditioning Research*, 21(4),1172-1176.
- Castagna, C., Impellizzeri, F.M., Chaouachi, A., y Manzi, V. (2013). Preseason variations in aerobic fitness and performance in elite-standard soccer players: a team study. *Journal Strength and Conditioning Research*, 27(11), 2959-2965.
- Chamari, K., Ahmaidi, S., Fabre, C., Ramonatxo, M., y Prèfaut, C. (1995). Pulmonary gas exchange and ventilatory responses to brief intense exercise in young

- trained and untrained adults. *European Journal of applied physiology and occupational physiology*, 70(5), 442-450.
- Chamari, K., Hachana, Y., Ahmed Y. B., Galy, O., Sgaïer, F., Chatard, J. C., Hue, O., y Wisloff, U. (2004). Field and laboratory testing in young elite soccer players. *British Journal Sports Medicine*, 38(2), 191-196.
- Chamari, K., Hachana, Y., Kaouech, F., Jeddi, R., Moussa-Chamari, I., y Wisloff, U. (2005). Endurance training and testing with the ball in young elite soccer players. *British Journal Sports Medicine*, 39(1), 24-28.
- Chaouachi, A., Manzi, V., Wong del P., Chaalali, A., Laurencelle, L., Chamari, K., Castagna, C. Intermittent endurance and repeated sprint ability in soccer players. *Journal Strength and Conditioning Research*, 24, 2663-2669.
- Chelly, M.S., Fathlolun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z., y Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *Journal Strength Conditioning Research*, 23(8), 2241-2249.
- Cometti, G., Maffiuletti, N. A., Pousson, M., Chatard, J.C., y Maffulli, N. (2001). Isokinetic strength and anaerobic power of elite, subelite and amateur French soccer players. *International Journal Sports Medicine*, 22(1), 45-51.
- Comfort, P., Haigh, A., y Matthews, M.J. (2012). Are changes in maximal squat strength during preseason training reflected in changes in sprint performance in rugby league players?. *Journal Strength and Conditioning Research*, 26(3), 772-776.
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., y Clarkson, B. (2014). Relationship between strength, sprint, and jump performance in well trained youth soccer players. *Journal Strength and Conditioning Research*, 28(1), 173-177.
- Cronin, J.B., y Hansen, K.T. (2005). Strength and power predictors of sport speed. *Journal Strength and Conditioning Research*, 19(2), 349-357.

- Da Silva J.F., Guglielmo L.G., y Bishop D. (2010). Relationship between different measures of aerobic fitness and repeated-sprint ability in elite soccer players. *Journal Strength Conditioning Research*, 24(8) 2115-2121.
- Dawson, B., Goodaman, C., Lawrence, S., Preen, D., Polglaze, T., Fitzsimons, M., y Fournier, P. (1997). Muscle phosphocreatine repletion following single and repeated short sprints efforts. *Scandinavian Journal Medicine Science in Sports*, 7, 206-213.
- Delecluse, C., Van Coppenolle, H., Willems, E., Van Leemputte, M., Diels, R., y Goris, M. (1985). Influence of high-resistance and high-velocity training on sprint performance. *Medicine Science in Sport and Exercise*, 27(8), 1203-1209.
- Dellal, A., Chamari, K., Pintus, A., Girard, O., Cotte, T., y Keller, D. (2008). Heart rate responses during small-sided games and short intermittent running training in elite soccer players: a comparative study. *Journal Strength and Conditioning Research*, 22, 1449-1457.
- Dellal, A., da Silva, C.D., Hill-Haas, S., Wong del P., Natali A.J., De Lima J.R., Bara Filho M.G., Marins J.J., Garcia E.S., y Chamari , K. (2012). Heart rate monitoring in soccer: interest and limits during competitive match play and training, practical application. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2890-2896.
- Dellal A., Wong Del P., Moalla, W., y Chamari, K. (2011). Physical and technical activity of soccer players in the French First League – with special reference to their playing position. *International Sportmed Journal*, 11(2), 278-290.
- Di Salvo, V., Baron, R., González-Haro, C., Gormasz, C., Pigozzi, F., y Bachl, N. (2010). Sprinting analysis of elite soccer players during European Champions League and UEFA Cup matches. *Journal Sports Sciences*, 28(14), 1489-1494.
- Di Salvo, V., Gregson, W., Atkinson, G., Tordoff, P., y Drust B. (2009). Analysis of high intensity activity in Premier League soccer. *International Journal Sports Medicine*, 30(3), 205-212.

- Di Salvo, V., y Pigozzi, F. (1998). Physical training of football players based on their positional roles in the team. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 38, (4), 294-297.
- Docherty, D., y Sporer, B. (2000). A proposed model for examining the interference phenomenon between concurrent training. *Sports Medicine*, 30(6), 385-394.
- Dowson, M. N., Cronin, J. B., y Presland, J.D. (2002). Anthropometric and physiological differences between gender and age groups of New Zealand national soccer players. En W. Spinks, T. Reilly y A. Murphy (Ed.), *Science and football IV* (pp.63-71). Londres: E & FN Spon.
- Dupont, G., McCall, A., Prieur, F., Millet, G.P. y Berthoin, S. (2010). Faster oxygen uptake kinetics during recovery is related to better repeated sprinting ability. *European Journal Applied Physiology*, 110(3), 627-634.
- Dupont G., Millet G.P., Guinhouya C., y Berthoin S. (2005). Relationship between oxygen uptake kinetics and performance in repeated running sprints. *European Journal of Applied Physiology*, 95(1), 27-34.
- Edge, J., Hill-Haas, S., Goodman, C., y Bishop, D. (2006). Effects of resistance training on H<sup>+</sup> regulation, buffer capacity, and repeated sprints. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 38, 2004-2011.
- Edwards, S. (1983). *The heart rate monitor book*. Sacramento: Feet Fleet Press.
- Edwards, A. M., Clark, N., y McFayden, A. M. (2003). Test performance indicators from a single soccer specific test differentiate between highly trained and recreationally active soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 43(1), 14-20.
- Eklom, B. (1986). Applied physiology of soccer. *Sports Medicine*, 3, 50-60.
- Esposito, F., Impellizzeri, F.M., Margonato, V., Vanni, R., Pizzini, G., y Veicsteinas, A. (2004). Validity of heart rate as an indicator of aerobic demand during soccer activities in amateur soccer players. *European Journal of Applied Physiology*, 93(1-2), 167-172.

- Faude, O., Koch, T., y Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *Journal Sports Science*, 30(7), 625-631.
- Gergley, J.C. (2009). Comparison of two lower-body modes of endurance training on lower-body strength development while concurrent training. *Journal Strength and Conditioning Research*, 23, 979-987.
- Gibson, N., Currie, J., Johnston, R., y Hill, J. (2013). Relationship between measures of aerobic fitness, speed and repeated sprint ability in full and part time youth soccer players. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(1), 9-16.
- Girard, O., Méndez-Villanueva, A., y Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability – part I: factors contributing to fatigue. *Sports Medicine*, 41(8), 683-694.
- Glaister, M. (2005). Multiple sprint work: physiological responses, mechanics of fatigue and the influence of aerobic fitness. *Sports Medicine*, 35, 757-777.
- González-Badillo, J.J. (2000) Concepto y medida de la fuerza explosiva en el deporte. Posibles aplicaciones al entrenamiento. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, XIV(1): 5-15.
- González-Badillo, J.J., y Sánchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *International Journal Sports Medicine*, 31(5), 347-352.
- González-Badillo, J.J., y Ribas, J. (2002) Bases de la programación del entrenamiento de fuerza. Barcelona: Inde.
- González-Badillo, J. J., Gorostiaga, A. (1995). Fundamentos del entrenamiento de la fuerza. Barcelona: Inde.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Iribarren, J., González-Badillo, J. J., e Ibáñez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *European Journal of Applied Physiology*. 91(5-6), 698-707.

- Hakkinen, K., Alen, M., Kraemer, W.J., Gorostiaga, E., Izquierdo, M., Rusko, H., Mikkola, J., Hakkinen, A., Valkeinen, H., Kaarakainen, E., Romu, S., Erola, V., Ahtiainen, J., y Paavolainen, L. (2003). Neuromuscular adaptations during concurrent strength and endurance training versus strength training. *European Journal Applied Physiology*, 89(1), 42-52.
- Hakkinen, K., y Komi, P.V. (1985). Fatigability in voluntary and reflex contraction after conditioning of human skeletal muscle. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 125(4), 587-600.
- Hamilton, A.L., Nevill, M.E., Brooks, S., y Williams, C. (1991). Physiological responses to maximal intermittent exercise: differences between endurance-trained runners and games players. *Journal Sports Science*, 9, 371-382.
- Harris, N.K., Cronin, J.B., Hopkins, W.G., y Hansen, K.T. (2010). Inter-relationship between machine squat-jump strength, force, power and 10 m sprint times in trained sportsmen. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 50(1), 37-42.
- Helgerud, J., Engen L. C., Wisloff, U., y Hoff, J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 33(11), 1925-1931.
- Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O.J., y Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *International Journal Sports Medicine*, 32(9), 677-682.
- Hennessy L, y Kilty J. (2001). Relationship of the stretch-shortening cycle to sprint performance in trained female athletes. *Journal Strength Conditioning Research*, 15(3), 326-331.
- Hennessy, J., y Watson, W.S: (1994). The interference effects of training for strength and endurance simultaneously. *Journal Strength Conditioning Research*, 8, 12-19.
- Hermassi, S., Chelly, M.S., Tabka, Z., Shephard, R.J., y 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 Strength Conditioning Research*, 25(9), 2424-2433.

- Hill-Haas, S., Bishop, D., Dawson, B., Goodman, C., y Edge, J. (2007). Effects of rest interval during high-repetition resistance training on strength, aerobic fitness, and repeated-sprint ability. *Journal Sports Science*, 25, 619-628.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 573-582.
- Hoff, J., Gran, A., y Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal Sports Medicine*, 12(5), 288-95.
- Hoff, J., y Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Medicine*, 34(3), 165-180.
- Hoff, J., Wisloff, U., Engen, L.C., Kemi, O.J., y Helgerud, J. (2002). Soccer specific aerobic endurance training. *British Journal Sports Medicine*, 36(3), 218-221.
- Hoppeler, H. (1986). Exercise-induced ultrastructural changes in skeletal muscle. *International Journal Sports Medicine*, 7(4), 187-204.
- Hunter, J.P., Marshall, R.N., y McNair, P.J. (2005). Relationship between ground reaction force impulse and kinematics of sprint-running acceleration. *Journal of Applied Biomechanics*, 21(1), 31-43.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., Castagna, C., Dishop, D., Ferrari Bravo, D., Tibaudi, A., y Wisloff, U. (2008). Validity of a repeated-sprint test for football. *International Journal Sports Medicine*, 29(11), 899-905.
- Impellizzeri, F. M., Rampinini, E., y Marcora, S. M. (2005). Physiological assessment of aerobic training in soccer. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 583-592.
- Izquierdo, M., Ibañez, J., González-Badillo, J.J., Häkkinen, K., Ratamess, N.A., Kraemer, W.J., French, D.N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain X., y Gorostiaga, E.M. (2006). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal response, strength, and muscle power gains. *Journal Applied Physiology*, 100(5), 1647-1656.
- Izquierdo-Gabarren, M., González de Txabarri Expósito, R., García-Pallarés, J., Sánchez-Medina, J., De Villarreal, E.S., e Izquierdo, M. (2010). Concurrent



- endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 42(6), 1191-1199.
- Jacobs, I., Westlin, N., Karlsson, J., Rasmusson, J., y Houghton, B. (1982). Muscle glycogen and diet in elite soccer players. *European Journal of Applied Physiology*. 48(3) 297-302.
- Jullien, H., Bisch, C., Largouët, N., Manouvrier, C., Carling, C.J., y Amiard, V. (2008). Does a short period of lower limb strength training improve performance in field-based tests of running and agility in young professional soccer players?. *Journal Strength Conditioning Research*, 22(2), 404-411.
- Keiner, M., Sander, A., Wirth, K., Caruso, O., Immesberger, P., y Zawieja, M. (2013). Strength performance in youth: trainability of adolescents and children in the back and front squats. *Journal Strength Conditioning Research*, 27(2), 357-362.
- Kellis, E., Katis, A., y Vrabas, I.S. (2006). Effects of an intermittent exercise fatigue protocol on biomechanics of soccer kick performance. *Scandinavian Journal Medicine and Science in Sports*, 16, 334-344.
- Klausen, K., Andersen, L.B., y Pelle, I. (1981). Adaptive changes in work capacity, skeletal muscle capillarization and enzyme levels during training and detraining. *Acta Physiological Scandinavica*, 113(1), 9-16.
- Kraemer, W.J., Patton, J.F., Gordon, S.E., Harman, E.A., Deschenes, M.R., Reynolds, K., Newton, R.U., Triplett, N.T., y Dziados, J.E. (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *Journal Applied Physiology*, 78, 976-989.
- Kraemer, W. J., French, D., N., Paxton, N. J., Hakkinen, K., Volek, J. S., Sebastianelli, W. J., Putukian, M., Newton, R. U., Rubin, M. R., Gómez, A. L., Vescovi, J. D., Ratermess, N. A., Fleck, S. J., Lynch, J. M., y Knuttgen, H. G. (2004). Changes in exercise performance and hormonal concentrations over a big ten soccer season in starters and nonstarters. *Journal Strength and Conditioning Research*, 18 (1), 121-128.

- Kraemer, W.J., y Ratamess, N.A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 36(4), 674-688.
- Krustrup, P., Bradley, P.S., Christensen, J.F., Castagna, C., Jackman, S., Connolly, L., Randers, M.B., Mohr, M., Bangsbo, J. (2015). The To-To IE2 test: physiological response for untrained men versus trained soccer players. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 47(1), 100-108.
- Krustrup, P., Mohr, M., Steenberg, A., Bencke, J., Kjaer, M., y Bangsbo, J. (2006). Muscle and blood metabolites during a soccer game: Implications for sprint performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 38(6), 1165-1174.
- Léger, L., y Boucher, R. (1980). An indirect continuous running multistage field test: the Université de Montreal track test. *Canadian Journal of Applied Sports Science*. 5(2), 77-84.
- Léger, L. A., y Lambert, J. (1982). A maximal 20m shuttle run test to predict  $VO_2$ max. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 49, 1-12.
- Leveritt, M., Abernethy, P.J., Barry, B., y Logan, P.A. (2003). Concurrent strength and endurance training: the influence of dependent variable selection. *Journal Strength and Conditioning Research*, 17(3), 503-508.
- Lockie, R.G., Murphy, A.J., Knight, T.J., y Janese de Jonge, X.A. (2011). Factors than differentiate acceleration ability in fielf sports athletes. *Journal Strength and Conditioning Research*, 25(10), 2704-2714.
- Lockie, R.G., Murphy, A.J., y Spinks, C.D. (2003). Effects of resisted sled towing on sprint kinematics in field sport athletes. *Journal Strength and Conditioning Research*, 17, 760-767.
- López-Segovia, M., Dellal, A., Chamari, K., y González-Badillo, J.J. (2014). Importance of muscle power variables in repeated and single sprint performance in soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 9(40), 201-211.

- López-Segovia, M., Marques, M.C., van den Tillar, R., y González-Badillo, J.J. (2011). Relationships between vertical jump and full squat power outputs sprint times in U21 soccer players. *Journal of Human Kinetics*, 30, 135-144.
- López-Segovia, M., Palao Andrés, J.M., y González-Badillo, J.J. (2010). Effect of 4 months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. *Journal Strength and Conditioning Research*, 24(10), 2705-27014.
- Loturco, I., Ugrinowitsch, C., Roschel, H., Lopes Mellinger, A., Gomes, F., Tricoli, V., y González-Badillo, J.J. (2013). Distinct temporal organizations of the strength and power training loads produce similar performance improvements. *Journal Strength and Conditioning Research*, 27(1), 188-194.
- MacDougall, J.D., Sale, D.G., Elder, G.C., y Sutton, J.R. (1982). Muscle ultrastructural characteristics of elite powerlifters and bodybuilders. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 48(1), 117-126.
- Mann, R., y Sprague, P.A. (1980). Kinetic analysis of the ground leg during sprint running. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60, 334-338.
- Martin, D., Carl, K., y Lehnertz, K. (2001). *Manual de metodología del entrenamiento deportivo*. Barcelona: Paidotribo.
- McBride, J.M., Triplett-McBride, T., Davie, A., y Newton, R.U. (2002). The effect of heavy-vs. light-load jumps on the development of strength, power, and speed. *Journal Strength and Conditioning Research*, 16 (1), 75-82.
- McMillan, K., Helgerud, J., Macdonald, R., y Hoff, J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *British Journal Sports Medicine*, 39, 163-169.
- Meckel, Y., Machnai, O., y Eliakim, A. (2009). Relationship among repeated sprint test, aerobic fitness, and anaerobic fitness in elite adolescent soccer players. *Journal Strength and Conditioning Research*, 23, 163-169.
- Méndez-Villanueva, A., Buchheit, M., Kuitunen, S., Douglas, A., Peltola, E., y Bourdon, P. (2011). Age-related differences in acceleration, maximum running speed,

- and repeated-sprint performance in young soccer players. *Journal Sports Sciences*, 29(5), 477-484.
- Méndez-Villanueva, A., Hamer, P., y Bishop, D. (2008). Fatigue in repeated-sprint exercise is related to muscle power factors and reduced neuromuscular activity. *European Journal of Applied Physiology*, 103, 411-419.
- McMillan, K., Helgerud, J., Grant, S. J., Newell, J., Wilson, J., Macdonald, R., y Hoff, J. (2005). Lactate threshold responses to a season of professional British youth soccer. *British Journal Sports Medicine*, 39(7), 432-436.
- Metaxas, T. I., Koutlianos, N. A., Kouidi, E. J., y Deligiannis, A. P. (2005). Comparative study of field and laboratory tests for the evaluation of aerobic capacity in soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 79-84.
- Murphy, A., Lockie, R.G., y Coutts, A.J. (2003). Kinematic determinants of early acceleration in field sports athletes. *Journal Sports Science and Medicine*, 2, 144-150.
- Ostojic, S. (2003). Seasonal alterations in body compositions and sprint performance of elite soccer players. *Journal of Exercise Physiology online*, 6, 24-27.
- Owen, A.L., Wong del P., Paul D., y Dellal, A. (2012). Effects of a periodized small-sided game training intervention on physical performance in elite professional soccer. *Journal Strength and Conditioning Research*, 26(10), 2748-2754.
- Pyne, D.B., Boston, T., Martin, D.T., y Logan, A. (2000). Evaluation of the LActate Pro blood lactate analyser. *European Journal of Applied Physiology*, 82, 112-116.
- Pyne, D.B., Saunders, P.U., Montgomery P.G., Hewitt, A.J., y Sheehan, K. (2008). Relationships between repeated sprint testing, speed, and endurance. *Journal Strength and Conditioning Research*, 22, 1633-1637.
- Rampinini, E., Impellizzeri, F.M., Castagna, C., Coutts, A.J. y Wisloff, U. (2009). Technical performance during soccer matches of the Italian Serie A league:

- effect of fatigue and competitive level. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 12(1), 227, 233.
- Ratel, S., Williams, C.A., Oliver, J. y Armstrong, N. (2006). Effects of age and recovery duration on performance during multiple treadmill sprints. *International Journal Sports Medicine*, 27, 1-8.
- Rebelo, A., Brito, J., Maia, J., Coelho-e-Silva, M.J., Figueiredo, A.J., Bangsbo, J., Malina, R.M., Seabra, A. (2013). Anthropometric characteristics, physical fitness and technical performance of under-19 soccer players by competitive level and field position. *International Journal Sports Medicine*, 34(4), 312-317.
- Rebelo, A. N., y Soares, J. M. C. (1997). Endurance capacity of soccer players pre-season and during the playing season. En T. Reilly, J. Bangsbo, M. Hughes (Ed.), *Science and football III* (pp. 106-111). Londres: E & FN Spon.
- Reilly, T. (2003). Motion analysis and physiological demands. En Williams, A. M. y Reilly, T. (Ed.), *Science and soccer* (pp. 59-72). London: E & FN Spon.
- Reilly, T., y 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.
- Requena B., González-Badillo J.J., Saez de Villarreal E.S., Erelina J., García I., Gapeyeva H., y Pääsuke M. (2009). Functional performance, maximal strength, and power characteristics in isometric and dynamic actions of lower extremities in soccer players. *Journal Strength Conditioning Research*, 23(5) 1391-1401.
- Rienzi, E., Drust, B., Reilly, T., Carter, J. E., y Martin, A. (2000). Investigation of anthropometric and work rate profiles of elite South American international soccer players. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 40(2), 162-169.
- Rønnestad, B.R., Kvamme, N.H., Sunde, A., y Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *Journal Strength Conditioning Research*, 22(3), 773-780.

- Sahlin, K. (1992). Metabolic factors in fatigue. *Sports Medicine*, 13, 99-107.
- Sale, D.G., Jacobs, I., MacDougall, J.D., y Garner, S. (1990). Comparison of two regimens of concurrent strength and endurance training. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 22(3), 348-356.
- Sánchez-Medina, L., y González-Badillo, J.J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 43(9), 1725-1734.
- Sander, A., Keiner, M., Wirth, K., y Schmidtbleicher, D. (2013). Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *European Journal of Sports Science*, 13(5), 445-451.
- Schantz, P., y Henriksson, J. (1983). Increases in myofibrillar ATPase intermediate human skeletal muscle fibers in response to endurance training. *Muscle Nerve*, 6(8), 553-556.
- Serpiello, F.R., McKenna, M.J., Stepto, N.K., Bishop, D.J., y Aughey, R.J. (2011). Performance and physiological responses to repeated-sprint exercise: a novel multiple-set approach. *European Journal Applied Physiology*, 111, 669-678.
- Silvestre, R., West, C., Maresh, C., y Kraemer, W.J. (2006). Body composition and physical performance in men's soccer: a study of a notational collegiate athletic association division I team. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(1), 177-183.
- Sleivert G, y Taingahue M. (2004). The relationship between maximal kump-squat power and sprint acceleration in athletes. *Eur J Appl Physiol*, 91(1), 46-53.
- Spencer, M., Fitzimons, M., Dawson, B., Bishop, D., y Goodman, C. (2006). Reliability of a repeated-sprint test for field-hockey. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 9, 181-184.

- Spriet, L.L., Lindinger, M.I., McKelvie, R.S., Heigenhauser, G.J.F., y Jones, N.L. (1989). Muscle glycogenolysis and H<sup>+</sup> concentration during maximal intermittent cycling. *Journal Applied Physiology*, 66, 8-13.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., y Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Medicine*, 35(6), 501-536.
- Stroyer, J., Hansen, L., y Klausen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Medicine Science in Sports and Exercise*, 36(1), 168-174.
- Svensson, M., y Drust, B. (2005). Testing soccer players. *Journal of Sports Sciences*, 23(6), 601-618.
- Terrados, N., Melichna, J., Sylven, C., y Jansson, E. (1986). Decrease in skeletal muscle myoglobin with intensive training in man, *Acta Physiological Scandinavica*, 128(4), 651-652.
- Tesch, P.A., Thorsson, A., y Fujitsuka, N. (1985). Creatine phosphate in fiber types of skeletal muscle before and after exhaustive exercise. *Journal Applied Physiology*, 66, 1756-1759.
- Tiryaki, G., Tuncel, F., Yamaner, F., Agaoglu, S. A., Gu-Mubdad, H., y Acar, M. F. (1997). Comparison of the physiological characteristics of the first, second and third league Turkish soccer players. En T. Reilly, J. Bangsbo, M. Hughes (Ed.), *Science and football III* (pp. 32-36). Londres: E & FN Spon.
- Van Gool, D., Van Gerven, D., Boutmans, J. (1988). The physiological load imposed on soccer players during real match-play. In T. Reilly, A. Lees, K. Davids, W.J. Murphy (Eds.), *Science and football* (pp. 51-59). London: E & FN Spon.
- Vigne, G., Gaudino, C., Rogowski, I., Alloati, G., y Hautier, C. (2010). Activity profile in elite Italian soccer team. *International Journal Sports Medicine*, 31(5), 304-310.
- Viru, A., y Viru, M. (2003). *Análisis y control del rendimiento deportivo*. Barcelona: Paidotribo.

- Vitasalo, J.P. (1985). Measurement of force-velocity characteristics for sportsmen in field conditions. In D.A. Winter, R.W. Norman, R.P. Wells, K.C. Hayes, A.E. Patla (Eds.), *Biomechanics IX-A* (pp. 91-95). Champaign, IL: Human Kinetics.
- Wallace, J.L., y Norton K.Y. (2014). Evolution of World Cup soccer final games 1966-2010: game structure, speed and play patterns. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 17(2), 223-228.
- Wehbe, G.M., Hartwig, T.B., y Duncan, C.S. (2013). Movement analysis of Australian national league soccer players using global positioning system technology. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(3), 834-842.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., y Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *British Journal Sports Medicine*, 38(3), 285-288.
- Wisloff, U., Helgerud, J., y Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Medicine Science in Sports and Exercise*. 30(3), 462-467.
- Wong, P.L., Chaouachi, A., Chamari, K., Dellal, A. y Wisloff, U. (2010). Effect of preseason concurrent muscular strength and high-intensity interval training in professional soccer players. *Journal Strength Conditioning Research*, 24(3), 653-660.
- Young, W.B. (2006). Transfer of strength and power training to sports performance. *International Journal Sports Physiology and Performance*, 1: 74-83.
- Young W., McLean M., y Ardagna J. (1995). Relationship between strength qualities and sprinting performance. *Journal Sports Medicine and Physical Fitness*, 35(1), 13-19.
- Zubillaga, A.(2006). La actividad del jugador de fútbol en alta competición: análisis de variabilidad. Tesis Doctoral. Universidad de Málaga.