



UNIVERSIDAD
**PABLO DE
OLAVIDE**
SEVILLA

Universidad Pablo de Olavide

Facultad del Deporte

Departamento de Deporte e Informática

TESIS DOCTORAL

*Efectos del entrenamiento de fuerza
combinado con ejercicios pliométricos y
velocidad sobre diferentes variables de
rendimiento físico en jugadores de fútbol de
edades comprendidas entre los 12 y 18 años*

Tesis Doctoral presentada por:

Felipe Franco Márquez

Director

Juan José González Badillo



UNIVERSIDAD
**PABLO^D
OLAVIDE**
S E V I L L A

Universidad Pablo de Olavide

Facultad del Deporte

Departamento de Deporte e Informática

TESIS DOCTORAL

*Efectos del entrenamiento de fuerza
combinado con ejercicios pliométricos y
velocidad sobre diferentes variables de
rendimiento físico en jugadores de fútbol de
edades comprendidas entre los 12 y 18 años*

DOCTORANDO

Felipe Franco Márquez

DIRECTOR

Juan José González Badillo

Sevilla, septiembre de 2019

Agradecimientos

Sería muy egoísta por mi parte sentirme el más importante en la publicación de esta Tesis Doctoral. Y digo esto porque entiendo la vida de la manera en que nada ni nadie es más relevante que otra cosa o persona. El resultado de cualquier éxito o fracaso está condicionado a la contribución de diversos agentes (internos o externos), y sin la influencia de estos agentes, probablemente el resultado no sería el mismo. Es por ello que me gustaría hacer mención a aquellos “*agentes*” que de una manera u otra han tenido su impacto en este trabajo.

En primer lugar, me gustaría compartir lo tremendamente orgulloso que me siento de haber tenido el privilegio de crecer en la familia que he crecido, fruto de dos padres que con pocos recursos y mucho trabajo han dotado a sus hijos de una buena educación y una excelente formación. Se que jamás podré devolveros los esfuerzos que habéis hecho para que hoy día esté aquí delante de este tribunal. Como dice el poeta de la familia: de vosotros yo he aprendido, cosas que no enseña la Universidad.

A Estefanía, mi calma y tranquilidad, pero sobre todo Mi Amor. De ti he aprendido a ser feliz con poco. Llevamos mucho tiempo recorriendo la vida juntos, y aunque no lo creas, sin ti y tu apoyo no habría dado grandes pasos que he dado en esta vida.

Este trabajo no hubiera sido posible sin la inestimable ayuda de grandes compañeros, que promovidos por la inquietud y bajo la dirección del maestro, siempre han estado ahí para armar el hombro. Gracias Chemi, Fernando, Ricardo, Juanma, Julio, Carlos, y otros muchos que han contribuido de una forma u otra en este trabajo.

A Juan José González Badillo, la persona más capaz, erudita, integra, pero, sobre todo, la persona con mayor ética que he conocido en este ámbito profesional. Cuando allá por el 2005 te cruzaste en mi camino, comenzaste a despertar en aquel joven unas ganas tremendas por conocer cómo funcionaba el entrenamiento deportivo. Siempre has estado al servicio de tus alumnos para resolver sus inquietudes, y dotarles de argumentos y herramientas. El sistema universitario necesita personas como usted, siempre al servicio de la ciencia y la docencia.

A David Rodríguez, el *Daddy*. Hoy no estaría frente a este tribunal, defendiendo esta Tesis, sin tu ayuda. Eres parte fundamental de este trabajo, y por ello te estaré eternamente agradecido. Gracias por resolver todas mis dudas, corregir mis errores, enseñarme cada

día algo, estar siempre pendiente de esta Tesis; pero, sobre todo, gracias por ser un amigo. El trabajo en equipo tiene sentido gracias a personas como tú. Juan José puede sentirse orgulloso de haber plasmado gran parte de sus virtudes en ti. Espero estar a la altura de vuestras expectativas para conmigo.

Gracias a Ennio y a Hans por acompañarme durante tantas horas de soledad. Con vuestra música siempre estuve acompañado.

Por último, agradecer a todos y cada uno de los deportistas que han formado parte de este trabajo como sujetos experimentales. Sin vosotros esto no hubiera existido. Gracias al Coria C.F. por confiar en mí para trabajar con su cantera, y todos los entrenadores que compartieron tantas horas de trabajo conmigo durante esos tres años.

RESUMEN

La presente Tesis está compuesta por tres estudios, los cuales fueron realizados con jugadores de fútbol de edades comprendidas entre los 12 y 18 años, teniendo como objetivo analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen combinado con pliometría sobre diferentes variables de rendimiento físico (1), y comparar los efectos de un mismo programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen de repeticiones por serie, combinado con pliometría en jugadores de fútbol de edades diferentes (2).

ESTUDIO I

Título: Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol jóvenes (sub-15)

Objetivo: Analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas combinado con ejercicios pliométricos sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol menores de 15 años.

Método: Un equipo ($n = 20$) realizó un programa de entrenamiento de fuerza combinado con pliometría (6 semanas, dos sesiones por semana) antes de su entrenamiento regular de fútbol (GE), mientras que el otro equipo ($n = 18$) realizó sólo el entrenamiento habitual de fútbol (GC). El programa de entrenamiento de fuerza consistió en sentadillas completas con cargas bajas (45-60% 1RM) y bajo volumen (2-3 series y 4-8 repeticiones por serie) combinado con saltos y *sprints*. El tiempo en *sprint* en 10 y 20 metros (T_{10} , T_{20} y T_{10-20}), altura del CMJ, repetición máxima estimada ($1RM_{est}$), promedio de la velocidad media propulsiva obtenida ante las cargas comunes en el pre- y post-test (AV) y los cambios en la velocidad media propulsiva obtenida ante diferentes cargas absolutas ($VMP_{20, 30, 40}$ y 50) en el ejercicio de sentadilla completa, fueron las variables seleccionadas para analizar el efecto del entrenamiento.

Resultados: GE presentó mayores ganancias ($P < 0,05$) en T_{20} , CMJ, $1RM_{est}$, AV y $VMP_{20, 30, 40}$ y 50 que GC. Además, GE mostró efectos probablemente mayores en T_{10} y T_{10-20} comparado con GC.

Conclusiones: Estos resultados indican que sólo 6 semanas de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y un volumen bajo combinado con pliometría, además del entrenamiento habitual de fútbol, produjo importantes ganancias en diferentes variables de rendimiento físico comparado con realizar sólo el entrenamiento habitual de fútbol. Además, el

análisis de la mejora obtenida en la 1RM_{est} al final del ciclo, parece indicar que la mitad de los jugadores entrenó con cargas relativas progresivamente menores con respecto a la inicial durante el ciclo de entrenamiento.

ESTUDIO II

Título: Efectos de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría y ejercicios de velocidad sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol sub-13

Objetivo: Examinar los efectos de 6 semanas de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen combinado con saltos y *sprint* sobre la fuerza de las piernas, capacidad de salto y capacidad de aceleración en jugadores de fútbol menores de 13 años (estado madurativo previo al pico de velocidad de crecimiento; pre-PHV).

Método: 30 jugadores de fútbol de 2 equipos pertenecientes al mismo club fueron distribuidos aleatoriamente en el grupo de entrenamiento (GE = 15) o en el grupo control (GC = 15). GE realizó un programa de entrenamiento de fuerza de 6 semanas (2 días/semana) con cargas bajas combinado con ejercicios pliométricos antes de su habitual entrenamiento de fútbol, mientras que GC sólo realizó su entrenamiento habitual de fútbol. El programa de entrenamiento de fuerza consistió en sentadillas completas con cargas bajas (45-60% 1RM) y bajo volumen (2-3 series y 4-8 repeticiones por serie) combinado con saltos y *sprints*. El tiempo en *sprint* en 10 y 20 metros (T_{10} , T_{20} y T_{10-20}), altura del CMJ, repetición máxima estimada ($1RM_{est}$), promedio de la velocidad media propulsiva obtenida ante las cargas comunes en el pre- y post-test (AV) en el ejercicio de sentadilla completa, fueron las variables seleccionadas para analizar el efecto del entrenamiento.

Resultados: GE mostró mejoras significativas ($P = 0,004 - 0,001$) y tamaños del efecto de moderado a muy grande ($TE = 0,71 - 2,10$) en todas las variables analizadas, mientras que en el GC no se encontraron ganancias significativas ($TE = -0,20$ a $0,06$). Además, se encontraron interacciones test x grupo significativas ($P < 0,003 - 0,001$) y tamaños del efecto entre grupos mayores ($TE = 0,90 - 1,97$) para todas las variables a favor de GE comparado con GC.

Conclusiones: Sólo 6 semanas de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen combinado con pliometría puede provocar importantes mejoras en el rendimiento en fuerza, salto y *sprint*. De este modo, la combinación del entrenamiento

habitual de fútbol y un entrenamiento de fuerza con cargas ligeras se podría utilizar para conseguir un desarrollo mayor de diferentes variables de rendimiento físico importantes para el rendimiento en fútbol en jugadores de fútbol pre-PHV.

ESTUDIO III

Título: Efectos de un mismo programa entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol de distintas edades

Objetivo: Comparar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y un bajo volumen de repeticiones por serie, combinado con ejercicios pliométricos sobre la fuerza de las piernas, capacidad de salto y rendimiento en *sprint* en jugadores de fútbol sub-13, sub-15 y sub-17.

Método: 86 jugadores de fútbol pertenecientes al mismo club fueron categorizados en 3 grupos de edad (sub-13, $n = 30$; sub-15, $n = 28$; y sub-17, $n = 28$) y luego distribuidos aleatoriamente en dos subgrupos: grupo de entrenamiento (GE) y grupo control (GC). El programa de entrenamiento de fuerza se realizó dos veces por semana durante 6 semanas y consistió en sentadillas completas con cargas bajas (45-60% 1RM) y bajo volumen (2-3 series y 4-8 repeticiones por serie) combinado con saltos y *sprints*.

Resultados: Después del programa de entrenamiento, GEs mostró mejoras significativas en fuerza máxima (7,5 – 54,5%; $P < 0,001$), altura del salto (5,7 – 12,5%; $P < 0,01 - 0,001$), y tiempo en *sprint* (-3,7 a -1,2%; $P \leq 0,05 - 0,001$), mientras que no se encontraron ganancias significativas para ninguna variable en los GCs. La comparación entre GEs presentó una magnitud de cambio mayor para GE₁₃ comparado con GE₁₅ (TE: 0,10 – 0,53) y con GE₁₇ (TE: 0,14 – 1,41) en la mayoría de variables, mientras que GE₁₅ mostró mayores mejoras en salto y fuerza que GE₁₇ (TE: 0,25 – 0,90).

Conclusiones: Aunque los resultados sugieren que un entrenamiento de fuerza con cargas bajas y volumen bajo combinado con pliometría es un método de entrenamiento efectivo para mejorar el rendimiento físico en jugadores de fútbol de diferentes edades, estos hallazgos parecen indicar que factores relacionados con el salto, *sprint* y fuerza pueden desarrollarse en diferentes grados para individuos diferentes, ya que las ganancias obtenidas en estas variables después de la aplicación del mismo programa de entrenamiento se van atenuando a medida que aumenta la edad.

Índice

1. Introducción	1
2. Problemática objeto de estudio y objetivos	6
3. Marco Teórico	7
3.1. Entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes.....	7
3.2. Entrenamiento Pliométrico y de Velocidad.....	13
3.3. Entrenamiento de fuerza, pliometría y velocidad en futbolistas jóvenes o preadolescentes.....	23
4. Publicaciones	29
4.1. Estudio I: Efectos de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol jóvenes (sub-15)	29
4.1.1. Introducción.....	29
4.1.2. Metodología.....	32
4.1.3. Resultados.....	45
4.1.4. Discusión.....	51
4.1.5. Conclusiones.....	57
4.1.6. Aplicaciones prácticas.....	57
4.1.7. Limitaciones.....	58
4.2. Estudio II: Efectos de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría y ejercicios de velocidad sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol sub-13	59
4.2.1. Introducción.....	59
4.2.2. Metodología.....	61
4.2.3. Resultados.....	69
4.2.4. Discusión.....	72
4.2.5. Conclusiones.....	76
4.2.6. Aplicaciones prácticas.....	76

4.2.7. Limitaciones	77
4.3. Estudio III: Efectos de un mismo programa de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol de distintas edades.....	78
4.3.1. Introducción.....	78
4.3.2. Metodología.....	80
4.3.3. Resultados.....	85
4.3.4. Discusión	93
4.3.5. Conclusiones.....	97
4.3.6. Aplicaciones prácticas	97
4.3.7. Limitaciones	97
5. Discusión general.....	98
6. Conclusiones Generales.....	104
7. Aplicaciones prácticas generales	104
8. Limitaciones generales	105
9. Futuras líneas de investigación.....	105
10. Referencias bibliográficas.....	106
Relación de Tablas.....	129
Relación de Figuras	130
Glosario de Acrónimos	131
ANEXO I.....	133
PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS.....	134

1. Introducción

El fútbol es un deporte de equipo que requiere de la combinación de diferentes habilidades técnicas, tácticas, físicas (Hoff, 2005), fisiológicas y cognitivas (Stolen, Chamari, Castagna, & Wisloff, 2005). Dentro del aspecto físico, durante un partido de fútbol las distancias recorridas por jugadores de alto nivel rondan los 10-12 km. Se produce un *sprint* aproximadamente cada 90 segundos, y dura una media de 2-4 segundos (10 - 20 m). Los *sprints* constituyen entre 1-11% de la distancia total recorrida durante un partido correspondiendo al 0,5-3,0% del tiempo de juego efectivo (es decir, tiempo en el que el balón está en juego). Además, cada jugador realiza aproximadamente 1000-1400 actividades de corta duración cambiando cada 4-6 segundos. Las actividades realizadas son: 10-20 *sprints*; carreras de alta intensidad cada 70 segundos; sobre 15 *tackles* (entradas); 10 remates de cabeza; 50 interacciones con el balón; 30 pases, así como cambios de ritmos y contracciones musculares fuertes y prolongadas para mantener el equilibrio y control del balón contra la presión defensiva (Stolen et al., 2005). Estas acciones se manifestarán en mayor o menor medida y con mayor o menor éxito dependiendo entre otras factores de los niveles de rendimiento en resistencia (Mohr, Krstrup, & Bangsbo, 2003), fuerza (Wisloff, Helgerud, & Hoff, 1998) velocidad (Reilly & Gilbourne, 2003) o amplitud de movimiento (ROM) que posean los jugadores.

En fútbol, la habilidad del sistema neuromuscular para producir fuerza por unidad de tiempo (RFD) parece ser importante, ya que una de las principales diferencias fisiológicas entre jugadores de distinto nivel parece ser la habilidad de generar fuerza máxima; compartiendo protagonismo con la resistencia (Gorostiaga et al., 2004). Además, la producción de fuerza por unidad de tiempo también juega un papel importante en la habilidad de ejecutar movimientos rápidos y explosivos (Rodríguez-Rosell, Pareja-Blanco, Aagaard, & Gonzalez-Badillo, 2017) muy característicos del fútbol. Se han observado relaciones significativas entre la fuerza de las piernas y el tiempo en *sprint*, salto vertical y cambios de dirección (Comfort, Stewart, Bloom, & Clarkson, 2014; Wisloff, Castagna, Helgerud, Jones, & Hoff, 2004), así como con una reducción del riesgo de lesión (Croisier, Ganteaume, Binet, Genty, & Ferret, 2008; Peek, Gatherer, Bennett, Fransen, & Watsford, 2018) y con un menor daño muscular después de un partido de fútbol (Owen et al., 2015). En referencia a reducir el riesgo de lesión, el fútbol actual ha experimentado un aumento en las demandas físicas del juego en parte debido a los cortos

periodos de recuperación entre partidos y a las altas demandas neuromusculares (p.ej. mayor número de acciones a alta intensidad y aceleraciones) (Silva et al., 2018). Estas demandas durante un partido provocan daños musculares, inflamación y fatiga neuromuscular que requieren de entre 48-72 horas para que vuelvan a sus niveles normales (Nedelec et al., 2012; Romagnoli et al., 2016). La acumulación de dicho estrés fisiológico a lo largo de una temporada puede predisponer a los futbolistas a una incapacidad de hacer frente a las demandas de entrenamiento y la competición, comprometiendo de este modo el rendimiento. De hecho, el estrés metabólico y mecánico impuesto en los futbolistas puede inducir a alteraciones fisiológicas que podrían verse agravadas durante periodos de exposición prolongados o intensos (Silva et al., 2014). Estas alteraciones pueden ser incluso mayores cuando nos referimos a futbolistas jóvenes, los cuales necesitan un mayor tiempo de recuperación (168 horas) para que los valores de daño muscular (Creatina Quinasa [CK]) vuelvan a la normalidad (Hughes, Denton, R, Oliver, & De Ste Croix, 2018). Estos biomarcadores volverán a sus valores basales cuando se produzca el cese de la actividad (periodo de vacaciones) (Silva et al., 2014). El tipo de contracción muscular, intensidad y duración del ejercicio realizado, además del estado de entrenamiento (vuelta al entrenamiento desde un estado de desentrenamiento) influye en la expresión de la CK (Owen et al., 2015). Sin embargo, existe una relación negativa ($r = 0.33-0.73$; $P < 0.05$) entre la fuerza de las piernas y los niveles de CK postpartido a lo largo de toda una temporada (Owen et al., 2015). Por todos estos factores antes comentados, parece que aumentar la capacidad de aplicar fuerza por determinados grupos musculares, en este caso de las piernas, puede mejorar la habilidad de girar, esprintar, cambiar de ritmo y de dirección, todas ellas acciones críticas para la mejora del rendimiento en el fútbol (Bangsbo, Norregaard, & Thorso, 1991), así como reducir el riesgo de lesión, el daño muscular y la fatiga neuromuscular postpartido.

Se ha indicado en numerosos estudios que el entrenamiento de fuerza es útil para mejorar la fuerza máxima de los miembros inferiores, con mejoras simultáneas en la habilidad de salto, RFD, rendimiento en resistencia intermitente y el tiempo en *sprint* en futbolistas adultos (Helgerud, Rodas, Kemi, & Hoff, 2011; Hoff & Helgerud, 2004). Sin embargo, existe poca información disponible en la literatura sobre el entrenamiento de fuerza en futbolistas jóvenes o preadolescentes. Durante muchos años, se ha considerado el entrenamiento de fuerza como un tipo de entrenamiento peligroso para los jóvenes o niños debido a la falsa creencia de que interfiere en el crecimiento y presenta un alto riesgo de

lesión (Blimkie, 1993). Sin embargo, varias revisiones y artículos científicos (Behringer, Vom Heede, Matthews, & Mester, 2011; Faigenbaum & Myer, 2010), así como diversos "positional stands" publicados por estamentos asesores, han disipado las preocupaciones relativas al uso, la eficacia y la seguridad del entrenamiento de fuerza en edades tempranas, indicando que éste tiene efectos beneficiosos tanto sobre la salud como sobre el rendimiento deportivo. Por consiguiente, el uso apropiado de un programa de entrenamiento de fuerza ligado al crecimiento natural y los procesos de maduración podría acelerar y mejorar el desarrollo físico en sujetos de edades tempranas (Ford et al., 2011), además de que se considera un método de entrenamiento seguro y efectivo para mejorar la fuerza muscular y las habilidades motrices en atletas de edad infantil y adolescente (Harries, Lubans, & Callister, 2012).

Se ha indicado que las mejoras en fuerza máxima y producción de fuerza por unidad de tiempo después de un periodo de entrenamiento están relacionadas con el nivel de maduración y los niveles basales de fuerza (Ford et al., 2011; Meylan, Cronin, Oliver, Hopkins, & Contreras, 2014). Sin embargo, hay poca evidencia empírica sobre los efectos y optimización del entrenamiento de fuerza durante el crecimiento y maduración en futbolistas jóvenes. En estudios previos realizados con futbolistas jóvenes se han usado entrenamientos de fuerza con cargas altas (Chelly et al., 2010; Christou et al., 2006; Maio Alves, Rebelo, Abrantes, & Sampaio, 2010) o una combinación de entrenamiento de fuerza con cargas altas y ejercicios de salto y velocidad (Faude, Roth, Di Giovine, Zahner, & Donath, 2013; Kotzamanidis, Chatzopoulos, Michailidis, Papaiakovou, & Patikas, 2005; Moore, Hickey, & Reiser, 2005) para mejorar la fuerza y la producción de fuerza por unidad de tiempo. Estas investigaciones han mostrado que estos métodos de entrenamiento producen mejoras significativas sobre la fuerza de las piernas, el salto vertical y el tiempo en *sprint* (Chelly et al., 2010; Christou et al., 2006; Kotzamanidis et al., 2005; Maio Alves et al., 2010). Sin embargo, el entrenamiento de fuerza realizado con cargas medias y altas y repeticiones hasta o cercanas al fallo muscular parecen estar asociados con un alto grado de fatiga (Gonzalez-Badillo et al., 2016; Pareja-Blanco et al., 2017a; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011) lo cual puede obstaculizar la práctica efectiva del entrenamiento técnico-táctico en campo realizado después del entrenamiento de fuerza (Apriantono, Nunome, Ikegami, & Sano, 2006), además de que este tipo de entrenamientos puede tener un mayor riesgo de lesión. Por tanto, aún no conocemos qué

tipo de entrenamiento de fuerza produce mayores ganancias del rendimiento físico con mínima interferencia con el entrenamiento específico de fútbol en jugadores jóvenes.

Varios autores han sugerido que no es necesario generar un excesivo grado de fatiga durante el entrenamiento de fuerza para mejorar el rendimiento en fuerza (Gonzalez-Badillo, Gorostiaga, Arellano, & Izquierdo, 2005; Gonzalez-Badillo, Izquierdo, & Gorostiaga, 2006; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Izquierdo et al., 2006b; Pareja-Blanco et al., 2017b; Pareja-Blanco, Sanchez-Medina, Suarez-Arrones, & Gonzalez-Badillo, 2017c), y que la velocidad de levantamiento es más o al menos tan importante como la magnitud (intensidad relativa) de la carga *per se* (Pareja-Blanco, Rodriguez-Rosell, Sanchez-Medina, Gorostiaga, & Gonzalez-Badillo, 2014). Por tanto, la combinación de cargas moderadas y pocas repeticiones por serie, desplazando la carga a la máxima velocidad posible en cada repetición, podría ser un estímulo suficiente para inducir adaptaciones neuromusculares relevantes en jugadores de fútbol jóvenes sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Pese a esto, pocos estudios (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gorostiaga et al., 2004; Lopez-Segovia, Palao Andres, & Gonzalez-Badillo, 2010; Los Arcos et al., 2014) han usado una combinación de entrenamiento de fuerza y pliometría donde los ejercicios de levantamiento de pesas fueran ejecutados con cargas moderadas y volumen bajo. Estos estudios (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gorostiaga et al., 2004; Lopez-Segovia et al., 2010; Los Arcos et al., 2014) fueron llevados a cabo con futbolista adolescentes (15-20 años) y sus resultados mostraron mejoras significativas en la altura del salto, mientras que este tipo de entrenamiento tuvo un menor efecto sobre la capacidad de aceleración. Además, en dos de estas investigaciones (Gorostiaga et al., 2004; Los Arcos et al., 2014), la intensidad relativa del entrenamiento de los ejercicios con pesas se programó en función al peso corporal y no se especificó qué porcentaje con respecto al máximo posible representaba dicho entrenamiento, lo cual puede dificultar la interpretación de los resultados.

Para nuestro conocimiento, solo 2 estudios previos (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Lopez-Segovia et al., 2010) han usado la velocidad de desplazamiento como referencia para prescribir la intensidad del entrenamiento de fuerza en jugadores de fútbol jóvenes. Esto es posible porque existe una relación muy estrecha ($R^2 = 0.98$) entre la velocidad de desplazamiento y la carga o intensidad relativa (%1RM) en diferentes ejercicios como el *press* de banca (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010) o la sentadilla completa (Sánchez-Medina, Pallarés, Pérez, Morán-Navarro, & González-Badillo, 2017). Este

método de evaluación y control del entrenamiento basado en la velocidad de desplazamiento es capaz de valorar la fuerza de los atletas sin la necesidad de llevar a cabo un test de 1 repetición máxima (1RM) o un test de repeticiones máximas (XRM).

Por otro lado, la mayoría de estudios realizados con jugadores de fútbol en edad prepuberal (sub-14) usaron entrenamiento pliométrico (Diallo, Dore, Duche, & Van Praagh, 2001; Meylan & Malatesta, 2009; Ramirez-Campillo et al., 2014), y sus resultados mostraron mejoras en la capacidad de salto y aceleración. Por lo tanto, añadir 1 o más ejercicios al entrenamiento pliométrico puede ser una intervención apropiada para mejorar la habilidad motora y la fuerza muscular de los niños. De hecho, varios estudios (Faigenbaum et al., 2007b; Fatouros et al., 2000) sugieren que los cambios en la capacidad de salto, *sprint* y la fuerza muscular resultantes de la ejecución de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría son mayores que si se realizan cada uno de ellos por separado.

2. Problemática objeto de estudio y objetivos

Con lo comentado anteriormente arriba, parece existir una falta de conocimiento en torno a estas cuestiones relacionadas con los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos en jugadores de fútbol jóvenes, dándose las condiciones necesarias para justificar la formulación de uno o varios problemas de investigación. En este caso concreto, el problema que nos planteamos fue el siguiente:

1. ¿Cuáles son los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos y velocidad sobre la fuerza de las piernas, el salto y la aceleración en carrera en jugadores de fútbol sub-13, sub-15 y sub-17?

Objetivos

Para abordar dicho problema objeto de estudio se plantearon los siguientes objetivos:

1. Analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza combinado con pliometría sobre la fuerza de las piernas, habilidad de salto y rendimiento en *sprint* en jugadores de fútbol sub-13 y sub-15.
2. Comparar los efectos de un mismo programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen de repeticiones por serie, combinado con pliometría sobre la fuerza de las piernas, habilidad de salto y rendimiento en *sprint* en jugadores de fútbol de edades diferentes (12-13 años, 14-15 años y 16-17 años).

La problemática general planteada y los objetivos se abordaron a través de 3 estudios:

- **Estudio I:** Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol jóvenes (sub-15)
- **Estudio II:** Efectos de un programa de entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos y de velocidad sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol preadolescentes (sub-13)
- **Estudio III:** Efectos de un mismo programa de entrenamiento de fuerza sobre diferentes variables de rendimiento en jugadores de fútbol de diferentes edades (sub-13, sub-15 y sub-17).

3. Marco Teórico

3.1. Entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes

El uso del entrenamiento de fuerza, pese a mostrar su eficacia y seguridad como método de entrenamiento para el acondicionamiento físico de los niños en los últimos años (Faigenbaum, Westcott, Loud, & Long, 1999), generó bastante controversia en el pasado. Aunque es un método con un gran número de investigaciones, está cada vez más aceptado, y además cuenta con el respaldo de diversas instituciones nacionales de salud como “*El Colegio Americano de Medicina del Deporte*” (*American College of Sports Medicine*) y “*La Sociedad Canadiense de Fisiología del Ejercicio*” (*Canadian Society for Exercise Physiology*), en la actualidad sigue teniendo muchos detractores, así como falsos mitos y creencias sobre sus efectos o perjuicios sobre la salud (Behm et al., 2017). Entre ellas la creencia de que durante la preadolescencia las ganancias de fuerza inducidas por el entrenamiento no son posibles debido a una insuficiencia en los niveles de andrógenos circulantes, provocando un retraso en el crecimiento, daños en la placa epifisiaria y otros problemas de seguridad y lesiones (Blimkie, 1993; Faigenbaum, 2000). El entrenamiento de fuerza en jóvenes, como en la mayoría de las actividades físicas, conlleva un cierto grado de riesgo inherente de lesión musculoesquelética, sin embargo, este riesgo no es mayor que en muchos otros deportes y actividades recreativas en las que los niños y adolescentes participan regularmente (Faigenbaum et al., 2009). En un estudio prospectivo en el que se evaluó la incidencia de las lesiones relacionadas con los deportes en jóvenes en edad escolar, durante un periodo de un año, sólo el 0,7% de un total de 1576 lesiones registradas estuvieron relacionadas con el entrenamiento de fuerza, mientras que el fútbol americano, baloncesto o fútbol presentaron aproximadamente el 19, 15 y 2% respectivamente, de todas las lesiones (Faigenbaum et al., 2009; Zaricznyj, Shattuck, Mast, Robertson, & D'Elia, 1980).

El término “niños” hace referencia a niños y niñas quienes no han desarrollado todavía sus características sexuales secundarias (aproximadamente hasta los 11 años en niñas y hasta los 13 años en niños; niveles 1 y 2 de maduración sexual en la escala de Tanner). Este periodo de desarrollo a menudo se conoce como preadolescencia. El término “adolescencia” hace referencia al periodo de tiempo entre la niñez y edad adulta e incluye niñas de 12 a 18 años y niños de 14 a 18 años (niveles 3 y 4 de maduración sexual en la escala de Tanner) (Behm, Faigenbaum, Falk, & Klentrou, 2008; Faigenbaum et al., 2009)

Durante la niñez y adolescencia, los factores fisiológicos relacionados con el crecimiento y desarrollo están en constante estado de evolución. Debido a la progresión del crecimiento, se espera que niños con un buen estado de salud muestren notables ganancias en altura, peso, consumo máximo de oxígeno, capacidad anaeróbica y fuerza muscular durante los años del desarrollo (Rowland, 2005). Varios estudios indican que con la participación regular en un programa de entrenamiento de fuerza, adecuadamente aplicado y supervisado por profesionales, los jóvenes pueden aumentar los niveles de fuerza y resistencia muscular significativamente por encima de los niveles esperados por crecimiento y maduración (Behm et al., 2017; Faigenbaum et al., 2001; Faigenbaum et al., 2002; Faigenbaum et al., 1999; Ramsay et al., 1990), pueden mejorar el rendimiento motor (Lillegard, Brown, Wilson, Henderson, & Lewis, 1997), aumentar la densidad ósea (Morris, Naughton, Gibbs, Carlson, & Wark, 1997), mejorar la composición corporal (Westcott, Tolken, & Wessner, 1995), reducir el riesgo de lesión en deportes y actividades recreativas (Hejna, Rosenberg, Buturusis, & Krieger, 1982; Smith, 1993), y alterar favorablemente parámetros psicosociales (Holloway, Beuter, & Duda, 1988). Sin embargo, debido a la maduración de los niños y adolescentes, es importante diferenciar entre aquellas adaptaciones producidas por el entrenamiento de aquellas provenientes del crecimiento y la maduración. Para ello, la mayoría de estudios incluyen un grupo control de la misma edad. Se ha observado que aplicar un programa de entrenamiento de fuerza en niños durante un periodo de 6 a 20 semanas, provoca mayores cambios en la fuerza muscular y el rendimiento, que no realizarlo (Behm et al., 2008). Por tanto, parece ser que el entrenamiento de fuerza tiene un efecto, tanto agudo (corto plazo) como a largo plazo, superior al que provoca el crecimiento y la maduración. De hecho, en la actualidad, el entrenamiento de fuerza es un componente fundamental en los modelos de desarrollo atlético a largo plazo (Faigenbaum, 2018; Lloyd et al., 2016a), y organismos como el Comité Olímpico Internacional reconocen la importancia de la fuerza y el acondicionamiento físico como un medio para mejorar la condición física y fomentar el desarrollo de habilidades positivas en deportistas jóvenes (Bergeron et al., 2015; Faigenbaum, 2018).

La edad o nivel de maduración son variables importantes a tener en cuenta a la hora de planificar un programa de entrenamiento. Debido al alto grado de plasticidad neuromuscular existente durante la preadolescencia, se sugiere que el desarrollo de la fuerza debería iniciarse durante la niñez para sentar las bases y conseguir un mejor

desarrollo durante la adolescencia (Lloyd & Oliver, 2012; Myer et al., 2011). Por otro lado, considerando los cambios hormonales que ocurren durante la pubertad (primera fase de la adolescencia), otros estudios creen que esta etapa es crucial para provocar adaptaciones fisiológicas a través del entrenamiento (Kraemer, Duncan, & Volek, 1998; Malina, Bouchard, & Bar-Or, 2004; Moran et al., 2017b). Behringer et al. (2010) indicaron en un meta-análisis que la capacidad de obtener ganancias en fuerza muscular parece aumentar de manera constante con el avance de la edad y el estado de maduración, y que no hay evidencias de que exista un momento determinado durante la adolescencia en el que el aumento de la fuerza sea mayor. Sin embargo, en contraste con esto, parece ser que la transferencia de las ganancias del entrenamiento de fuerza a otras habilidades motoras (*sprint*, saltar o lanzar) son mayores en sujetos menos maduros (Behringer et al., 2011; Behringer, Vom Heede, Yue, & Mester, 2010). De hecho, en una reciente meta-análisis (Behm et al., 2017) acerca de la efectividad del entrenamiento de fuerza sobre la fuerza muscular, la potencia y la velocidad, se observó que el entrenamiento de fuerza presentó mayores magnitudes de cambio en niños que en adolescentes en cada una de las variables de rendimiento analizadas (fuerza, tamaño del efecto (TE): 0,139 vs 0,88; salto, TE: 0,68 vs 0,42; y velocidad, TE: 0,73 vs 0,36; para niños y adolescentes, respectivamente). Por lo tanto, la edad es una variable importante a tener en cuenta en el desarrollo de la fuerza ya que parece ser que el entrenamiento de fuerza produce mayores ganancias en niños que en adolescentes, a pesar de los mayores incrementos de los cambios hormonales experimentados en la adolescencia.

Además de la variable edad o estado de maduración, la respuesta adaptativa al entrenamiento de fuerza también depende de otras variables que configuran el estímulo de entrenamiento tales como la magnitud de la carga, número de series y repeticiones, tipo de ejercicio y orden, duración de la recuperación, velocidad de ejecución, y frecuencia de entrenamiento (Faigenbaum et al., 1999; Gonzalez-Badillo, Marques, & Sanchez-Medina, 2011; Pareja-Blanco et al., 2017b; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011; Spiering et al., 2008). Según González-Badillo et al. (2011), una vez que los ejercicios hayan sido seleccionados, la carga de entrenamiento se definirá por la manipulación del volumen y la intensidad. De estas dos, la segunda es la más importante, puesto que es la intensidad la que determina la cantidad de volumen (número de repeticiones) que se puede realizar, y es generalmente reconocida como el componente del estímulo más importante relacionado con los cambios en los niveles de fuerza.

Generalmente, las cargas de entrenamiento se han prescrito utilizando un porcentaje determinado de la 1RM (realizando un test de 1RM) o realizando un test de XRM (p. ej. 10RM). Numerosas investigaciones han utilizado estos métodos para analizar el rendimiento en fuerza (Chelly et al., 2009; Christou et al., 2006; Faigenbaum et al., 1999; Hoffman et al., 2005; Moore et al., 2005; Sander, Keiner, Wirth, & Schmidtbleicher, 2013). Este enfoque requiere que los entrenadores valoren individualmente el valor de la 1RM para cada atleta. Sin embargo, como cita González-Badillo et al. (2010), la valoración directa de la 1RM presenta algunas desventajas importantes que merece la pena señalar. Puede estar asociada con lesiones cuando se ejecuta incorrectamente o por sujetos sin experiencia. Además, requiere mucho tiempo para su medición y es poco práctico para valorar a grupos grandes (Braith, Graves, Leggett, & Pollock, 1993; Mayhew, Ball, Arnold, & Bowen, 1992). Igualmente, la experiencia nos dice que la 1RM actual puede cambiar rápidamente después de sólo unas pocas sesiones de entrenamiento y, además, a menudo el valor obtenido no representa el valor máximo real del sujeto (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010). Y aunque existen trabajos que respaldan la medición de la 1RM en niños como un método seguro y eficaz (Faigenbaum, Milliken, & Westcott, 2003), los argumentos anteriormente comentados, junto a la fuerte relación que existe entre la velocidad media propulsiva (VMP) alcanzada con diferentes cargas submáximas y la 1RM en el ejercicio de sentadilla completa (Sanchez-Medina, Garcia-Pallares, Perez, Fernandez, & González Badillo, 2011), media sentadilla y sentadilla paralela (Martinez-Cava, Moran-Navarro, Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, & Pallares, 2019), dominadas (Sanchez-Moreno, Rodriguez-Rosell, Pareja-Blanco, Mora-Custodio, & Gonzalez-Badillo, 2017), press de banca (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010), y el tirón en banco horizontal (Sanchez-Medina, Gonzalez-Badillo, Perez, & Pallares, 2014), convierten la medición de la 1RM en una actividad de un gran riesgo y poco práctica. Por otro lado, se encuentra el test de XRM. Este test consiste en determinar, a través del ensayo-error, el número máximo de repeticiones que se puede realizar con una determinada carga submáxima. También se ha estudiado la relación entre diferentes porcentajes de 1RM y el número de repeticiones hasta el fallo (Hoeger, Hopkins, Barette, & Hale, 1990; Izquierdo et al., 2006a), estableciendo un continuo máximo de repetición (Kraemer, Fleck, & Deschenes, 1988). Aunque este método ciertamente elimina la necesidad de medir directamente la 1RM, llegar hasta el fallo muscular provoca un excesivo daño muscular (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), así como una fatiga residual que puede durar varios días en desaparecer (Moran-

Navarro et al., 2017; Pareja-Blanco et al., 2017a). Además, se ha comprobado que cuando se realizan repeticiones hasta el fallo con cargas submáximas, la velocidad de la última repetición es igual a la velocidad de la 1RM (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), por lo que a efectos de estrés y riesgos, sería igual que evaluar la 1RM.

En una revisión realizada sobre el uso del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes (Behringer et al., 2011), se concluyó que los programas de entrenamiento presentaron una extensiva variación en su duración, frecuencia, intensidad, volumen, y tipo de ejercicio. La duración osciló de 6 a 68 semanas, con una frecuencia de entrenamiento de 2-3 sesiones por semanas y una duración de 41 minutos por sesión. Aunque los estudios presentaron diferentes combinaciones de series y repeticiones, la media de los programas de entrenamiento presentó un volumen de 2-3 series de 8-15 repeticiones e intensidades entre 60% y 80% de la 1RM en 4-8 ejercicios. Gran parte de las investigaciones llevadas a cabo con niños y adolescentes han utilizado cargas medias-altas, así como repeticiones hasta o cercanas al fallo muscular (Faigenbaum, 2005; Faigenbaum et al., 2001; Faigenbaum et al., 2007a; Faigenbaum et al., 1999; Steele, Fisher, Assuncao, Bottaro, & Gentil, 2017). Parece ser que entrenar al fallo con cargas moderadas (13 a 15RM) provoca mayores cambios en la 1RM que entrenar al fallo con cargas altas (6 a 8RM) (Faigenbaum et al., 2001; Faigenbaum et al., 1999), aunque en otros estudios no se hallaron diferencias entre las diferentes intensidades a pesar de que ambas obtuvieron mejoras significativas (Faigenbaum, 2005; Steele et al., 2017). Como hemos indicado anteriormente, el uso de repeticiones hasta o cercanas al fallo muscular generan excesiva fatiga. Además, se ha observado que realizar la mitad de las repeticiones posibles con determinadas intensidades (4-10RM) provoca similares o mayores ganancias en fuerza máxima (1RM) que alcanzar el fallo muscular (Davies, Orr, Halaki, & Hackett, 2016; Izquierdo-Gabarren et al., 2010; Izquierdo et al., 2006b). Incluso en sujetos con experiencia en el entrenamiento de fuerza (halterófilos) se ha demostrado que utilizar volúmenes moderados produce mayores mejoras en el rendimiento en fuerza (ejercicios de halterofilia) que volúmenes altos (Gonzalez-Badillo et al., 2005; Gonzalez-Badillo et al., 2006). Por tanto, parece ser que no es necesario ni utilizar cargas altas ni alcanzar el fallo muscular para obtener mejoras en fuerza en niños y adolescentes sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza, así como tampoco utilizar volúmenes altos en jóvenes con experiencia.

En relación a la frecuencia de entrenamiento, existen pocos trabajos que hayan estudiado diferentes frecuencias de entrenamiento y sus efectos. Faigembaun et al. (2002) compararon los efectos de entrenar 1 o 2 veces por semana durante 8 semanas en niños. Los resultados mostraron que sólo el grupo que entrenó 2 veces por semana obtuvo mejoras significativas en la 1RM en press de banca comparado con el grupo control (cambios en la 1RM en press de banca en los grupos 2 días, 1 día y grupo control: 11,5, 9 y 4,4%, respectivamente). Además, ambos grupos (1 día y 2 días) presentaron mejoras significativas en la 1RM en press de piernas (14,2 y 24,9%, respectivamente) comparado con el grupo control (2,4%). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en otras variables de rendimiento (fuerza manual, flexibilidad, salto vertical y salto horizontal). Por lo tanto, aunque se necesitan más investigaciones al respecto, parece ser que realizar dos sesiones de entrenamiento de fuerza a la semana en niños produce mayores mejoras que realizar una sola sesión.

Además de todas las variables arriba mencionadas, para obtener mejores resultados, el programa de entrenamiento de fuerza debería diseñarse específicamente en conjunción con la edad, género, nivel de salud, y condición física de los niños involucrados (Behm et al., 2008), y teniendo en consideración varios principios del entrenamiento (sobrecarga, especificidad, progresión e individualización) que rigen la seguridad y efectividad de dicho entrenamiento (Bird, Tarpinning, & Marino, 2005; Kraemer & Ratamess, 2004; Rodriguez-Rosell, 2017).

3.2. Entrenamiento Pliométrico y de Velocidad

Pliometría

El entrenamiento pliométrico es un método de entrenamiento muy utilizado para la mejora de la condición física que consiste en realizar ejercicios de tipo salto, normalmente con el peso corporal, involucrando el ciclo estiramiento-acortamiento (CEA) (Bedoya, Miltenberger, & Lopez, 2015; Markovic & Mikulic, 2010; Meylan & Malatesta, 2009). El CEA se caracteriza por una acción excéntrica (estiramiento) antes de una acción concéntrica (acortamiento) (Nicol, Avela, & Komi, 2006). Se ha demostrado que la fase de estiramiento (excéntrica) mejora el rendimiento de la fase concéntrica final en comparación con una acción concéntrica aislada (p. ej. CMJ vs SJ) (Flanagan & Comyns, 2008; Komi, 2000). Parece ser que estas mejoras en el rendimiento pueden deberse a diferentes mecanismos. Por un lado, se cree que la fase excéntrica provoca un mayor reclutamiento de unidades motoras durante la fase concéntrica como consecuencia de la activación de los husos musculares (Schenau, Bobbert, & Haan, 1997) y una mayor excitación neural antes de la fase concéntrica (Walshe, Wilson, & Ettema, 1998). Otros autores (Kubo, Kawakami, & Fukunaga, 1999) han sugerido que la rigidez (*stiffness*) de las estructuras de los tendones tiene un efecto positivo sobre el CEA, posiblemente debido a un adecuado almacenamiento y retroceso de la energía elástica. Otros mecanismos también han mostrado su influencia en el rendimiento del CEA, entre ellos la composición del tipo de fibra muscular, el tamaño muscular (área de sección transversal del músculo), arquitectura muscular (longitud del fascículo, ángulo de penación), la co-contracción, la preactivación y el reflejo de estiramiento (Radnor et al., 2018). Además, también se ha observado que la activación aumenta con la velocidad/fuerza final de la fase excéntrica (McCarthy, Wood, Bolding, Roy, & Hunter, 2012). Por contra, disminuye si el tiempo de transición entre la fase excéntrica y concéntrica aumenta (Bobbert, Huijing, & van Ingen Schenau, 1987). El entrenamiento pliométrico se puede clasificar en CEA rápido o CEA lento en función de la duración del tiempo de contacto con el suelo. El CEA rápido hace referencia a aquellas acciones con tiempos de contactos inferiores a 250 ms, como por ejemplo del *Drop Jump*, mientras que el CEA lento engloba aquellas actividades con tiempos de contactos superiores a 250 ms (Flanagan & Comyns, 2008). Ejercicios de CEA lentos son los saltos verticales (p. ej. CMJ y *Abalakov*) o los saltos al cajón. En cambio, ejercicios de CEA rápido son el *drop jump*, *sprint*, saltos con rebote y/o saltos continuos sobre vallas. Se ha sugerido que las adaptaciones producidas por el

entrenamiento dependen del tipo de CEA utilizado (Thomas, French, & Hayes, 2009). Esto viene a justificar el principio de especificidad. Dependiendo del deporte que se practique, o hacía que tipo de actividad se busca que el entrenamiento tenga transferencia, hay que tener en consideración el tipo de CEA a utilizar (de Villarreal, Kellis, Kraemer, & Izquierdo, 2009).

Algunos observadores han sugerido que para realizar entrenamiento pliométrico de miembros inferiores se requiere unos determinados niveles basales de fuerza (p. ej. la 1RM debería ser 1,5 veces el peso corporal) (Potach & Chu, 2000). Sin embargo, esta opinión no está apoyada por las investigaciones y observaciones clínicas actuales (Faigenbaum et al., 2007b; Faigenbaum & Myer, 2010; Kotzamanidis, 2006; Marginson, Rowlands, Gleeson, & Eston, 2005; Myer, Ford, Palumbo, & Hewett, 2005). Por tanto, el entrenamiento pliométrico puede ser un método de acondicionamiento físico para niños y adolescentes relativamente seguro y efectivo si es prescrito apropiadamente y tiene una progresión adecuada en el tiempo (Faigenbaum et al., 2009; Faigenbaum & Myer, 2010). De hecho, se ha demostrado que aumenta la función neuromuscular (Behm et al., 2008; Lloyd, Meyers, & Oliver, 2011; Markovic & Mikulic, 2010), la densidad mineral ósea (Witzke & Snow, 2000), mejora el perfil de riesgo cardiovascular, facilita el control del peso, mayor bienestar psicosocial y disminuye el riesgo de lesión (Behm et al., 2008; Lloyd et al., 2011; Markovic & Mikulic, 2010).

En relación a la influencia de la edad o estado de maduración, Lloyd et al. (2012) indicaron que el desarrollo del sistema neuromuscular dependiente de la maduración parece jugar un papel en el patrón de adaptación al entrenamiento pliométrico. Sin embargo, Marta et al. (2014) observaron en niños y niñas de 10 y 11 años, pero con diferentes estados de maduración (Tanner I y II), que estar en un estado de madurez superior no supone una ventaja respecto a los menos desarrollado en las adaptaciones inducidas por el entrenamiento pliométrico. En cambio, Moran et al. (2017b) analizaron los efectos de un mismo programa de entrenamiento pliométrico sobre jugadores de hockey de diferentes edades (pre-PHV: sub-13 y mid-PHV: sub-15). Los resultados mostraron que los sujetos más maduros (sub-15) obtuvieron una mejora en el tiempo en 10 metros. El resto de las variables de rendimiento analizadas se mantuvieron, aunque con efectos de mayor magnitud en el grupo sub-15. El análisis entre grupos reveló que los sujetos más maduros tuvieron aumentos de pequeños a moderados en todas las variables analizadas con efectos más grandes y más probable en el CMJ y el tiempo en

sprint. En cambio, en el grupo de menor edad el rendimiento disminuyó en todos los test realizados. Por otro lado, en un meta-análisis reciente (Moran et al., 2017c), los autores encontraron que el entrenamiento pliométrico presentó un efecto moderado (TE: 0,73) en el incremento de la altura del CMJ en sujetos de entre 10 y 18 años (pre-, mid-, y post-PHV). Sin embargo, parece ser que los sujetos pre-PHV (10-12,99 años) y los post-PHV (16-18 años) presentaron mayor magnitud de cambio (TE: 0,91 y TE: 1,02; respectivamente), que los sujetos mid-PHV (13-15,99 años; TE: 0,47). Por lo tanto, parece no estar claro si el nivel de madurez o edad influye sobre las adaptaciones al entrenamiento pliométrico, aunque en un meta-análisis se haya indicado que, durante la adolescencia, los sujetos de entre 13 y 16 años responden peor al entrenamiento pliométrico que los menores de 13 años y los mayores de 16.

Existen numerosos estudios que han estudiado los efectos del entrenamiento pliométrico sobre distintas variables de rendimiento en jóvenes y niños (Chaouachi, Othman, Hammami, Drinkwater, & Behm, 2014; Lloyd, Oliver, Hughes, & Williams, 2012; Marta, Marinho, Izquierdo, & Marques, 2014; Matavulj, Kukolj, Ugarkovic, Tihanyi, & Jaric, 2001; McCormick et al., 2016; Moran et al., 2017b; Ramirez-Campillo, Andrade, & Izquierdo, 2013; Skurvydas & Brazaitis, 2010; Thomas et al., 2009), utilizando diferentes frecuencias de entrenamiento, volúmenes, alturas de caídas, diferentes tipos de CEA, etc. Referente al volumen, en pliometría, éste se suele contabilizar por el número de salto o impactos por sesión. El entrenamiento pliométrico se puede dividir en varias fases, dependiendo de la experiencia del participante (principiante, intermedio y avanzado). Una vez que el individuo sea capaz de realizar correctamente los ejercicios y los supere con cierta facilidad, podrá progresar a la siguiente fase (Bedoya et al., 2015). Cada fase se categoriza en función del número de contactos por sesión (principiante: 80 a 100; intermedio: 100 a 120; y avanzado: 120 a 140 contactos) (Potach & Chu, 2000). Diferentes volúmenes han mostrado su eficacia en la mejora de distintas variables de rendimiento. Moran et al. (2017b) analizaron los efectos de un programa de entrenamiento pliométrico con un volumen bajo (60 contactos por sesión) en jugadores de hockey menores de 13 y 15 años. Los resultados mostraron que sólo el grupo sub-15 obtuvo pequeñas mejoras en el tiempo en 10 metros. En otro estudio reciente (Chaabene & Negra, 2017) con jugadores de fútbol sub-13, se comparó un volumen bajo (50-60 impactos por sesión) y un volumen alto (110-120 impactos por sesión), encontrando que ambos volúmenes provocaron aumentos similares en el rendimiento en *sprint* (10 m) y

salto (CMJ). Ramírez-Campillo et al. (2013) estudiaron el efecto de dos volúmenes diferentes (60 vs. 120 impactos por sesión sobre superficie blanda) sobre diferentes variables de rendimiento en adolescentes desentrenados (menores de 17 años). El entrenamiento se realizó utilizando el ejercicio de *Drop Jump* con 3 alturas de caídas diferentes (20, 40 y 60 cm). Los resultados mostraron que el grupo que realizó más volumen obtuvo mejoras significativas en el tiempo en 20 metros, pero, por el contrario, disminuyó significativamente el rendimiento en CMJ. En cambio, el grupo de volumen moderado no obtuvo cambios en el tiempo en 20 metros ni tampoco en el CMJ, aunque sí presentó mejoras significativas en el *Squat Jump* (SJ). Por tanto, parece no estar claro que el volumen sea un factor determinante en la mejora del rendimiento en adolescentes, aunque sí parece que un volumen bajo (60 impactos por sesión) es un estímulo suficiente para al menos no empeorar el rendimiento.

La intensidad en el entrenamiento pliométrico se ha definido como la cantidad de estrés que se ejerce sobre los músculos, el tejido conectivo y las articulaciones durante la realización del ejercicio (Ebben, 2007). Se puede manipular de diferentes formas (p. ej. carga adicional, altura de caída) (Peitz, Behringer, & Granacher, 2018), aunque no existe un consenso sobre cuáles son los indicadores óptimos (Ramírez-Campillo et al., 2018). En un estudio con jugadores de fútbol sub-17 (Kobal, Pereira, Zanetti, Ramírez-Campillo, & Loturco, 2017) se compararon dos entrenamientos con el mismo volumen (de 24 a 72 impactos) pero con diferentes intensidades durante 6 semanas. Un grupo utilizó sobrecarga (8% PC) mientras que otro no utilizó ningún tipo de carga adicional. Los resultados mostraron que, aunque ambos grupos obtuvieron mejoras en la capacidad de salto (SJ y CMJ), estas fueron mayores en el grupo que utilizó sobrecarga. Por el contrario, ambos grupos empeoraron su rendimiento en *sprint*, aunque el grupo que utilizó sobrecarga lo hizo en menor medida. En otro estudio (Rosas et al., 2016) se compararon también los efectos del entrenamiento pliométrico con o sin carga adicional (0-15% PC) durante 6 semanas en jugadores de fútbol adolescentes. Los resultados mostraron que ambos grupos obtuvieron pequeñas mejoras en la capacidad de salto (Abalakov y salto horizontal con manos), aunque sin diferencias entre ellos. Por otro lado, Thomas et al. (2009) estudiaron dos tipos de entrenamiento pliométrico con intensidades diferentes (sin carga vs *Drop Jump* 40 cm) durante 6 semanas en jugadores de fútbol sub18. Los autores encontraron que ambos entrenamientos mejoraron el rendimiento en salto vertical, sin cambios en la capacidad de *sprint*. Matavulj et al. (2001) analizaron el uso de dos

intensidades diferentes por medio de dos alturas distintas (50 vs. 100 cm) durante 6 semanas en jugadores de baloncesto adolescente (15-16 años). Los autores encontraron similares mejoras en ambos grupos sobre la capacidad de salto. Por lo tanto, parece que el uso de cargas adicionales puede ser beneficioso, mientras que un aumento en la altura de la caída no parece aportar mayores beneficios.

Los programas de entrenamiento pliométrico varían según los ejercicios utilizados, así como su ejecución (Peitz et al., 2018). En relación al tipo de ejercicio utilizado, como hemos indicado anteriormente, podemos distinguir entre ejercicios de CEA lento o rápido. Además, también se pueden clasificar en función del vector de aplicación de fuerza (vertical u horizontal). Thomas et al. (2009) encontraron que el rendimiento en salto y cambio de dirección mejoró en jugadores de fútbol adolescentes utilizando dos tipos de salto diferentes (CMJ = CEA lento y Drop Jump = CEA rápido), mientras que el *sprint* no se vio modificado. En otro estudio (Ramirez-Campillo et al., 2015b) se comparó el efecto de tres programas de entrenamiento pliométrico (vertical, horizontal y combinado) sobre diferentes variables de rendimiento en jugadores de fútbol menores de 14 años. Los autores concluyeron que el uso de ejercicios con componente vertical induce incrementos significativamente mayores en los test ejecutados en el plano vertical, mientras que el uso de ejercicios con componente horizontal genera aumentos significativamente mayores en los test realizados en el plano horizontal. También mostraron que, comparado con un grupo control, la combinación de ejercicios verticales y horizontales provocó un aumento significativamente mayor en casi todas las variables analizadas. Por otro lado, en otro estudio (Ramirez-Campillo et al., 2015a) se estudió el efecto del entrenamiento pliométrico unilateral, bilateral o combinado sobre diferentes variables de rendimiento en jugadores de fútbol jóvenes menores de 15 años. Los resultados mostraron que el entrenamiento unilateral provocó un aumento significativamente mayor en el rendimiento de los test unilaterales, mientras que el uso de entrenamiento bilateral lo hizo en el rendimiento de los test bilaterales. Aunque no se encontraron diferencias entre los diferentes tratamientos, la combinación de ambos produjo un aumento significativamente mayor en el rendimiento de un mayor número de test comparado con el grupo control que los protocolos unilateral y bilateral. Por tanto, como cita Peitz et al. (2018), los resultados de estos estudios (Ramirez-Campillo et al., 2015a; Ramirez-Campillo et al., 2015b) apoyan el principio de especificidad. Además, la dirección del movimiento en el que los ejercicios son realizados también justifican el

principio de especificidad, ya que ejercicios realizados en el plano sagital y plano frontal tienden a aumentar los resultados en un mayor grado en el plano en el que son realizados (McCormick et al., 2016; Peitz et al., 2018).

Velocidad

La velocidad, entendida como *sprint*, es un factor importante para el alto rendimiento en una gran variedad de deportes. El *sprint* se puede dividir en 4 fases: la salida, la cual incluye la rapidez del primer paso; fase de aceleración, fase de velocidad máxima, y fase de desaceleración (Rumpf, Cronin, Oliver, & Hughes, 2011). La rapidez del primer paso, definida como los primeros 0-5 m, generalmente se incluye en la fase de aceleración, se caracteriza por una alta producción de fuerza para impulsar el cuerpo hacia delante (Lockie, Murphy, Schultz, Knight, & Janse de Jonge, 2012), y tiene una gran importancia en muchos deportes (Duthie, Pyne, Marsh, & Hooper, 2006; Gregson, Drust, Atkinson, & Salvo, 2010). La fase de aceleración se puede definir como la distancia necesaria para alcanzar la velocidad máxima. La fase de velocidad máxima es aquella en la cual se alcanza y mantiene la mayor velocidad durante el *sprint* y la fase de desaceleración, que sigue a la fase de máxima velocidad, se caracteriza por una disminución porcentual en la velocidad hasta la finalización del *sprint* (Rumpf et al., 2011). Dependiendo del deporte y la posición (esta última en los deportes de equipo), cada una de las fases del *sprint* puede tener más o menos relevancia. Por ejemplo, los futbolistas profesionales no suelen usar distancias mayores de 20 m (Stolen et al., 2005), por lo que en muy pocas ocasiones alcanzarán la fase de velocidad máxima, siendo por tanto la fase de aceleración más determinante, y además, representa un porcentaje importante de las acciones totales de un partido (Dalen, Ingebrigtsen, Ettema, Hjelde, & Wisloff, 2016).

Las mejoras que aparecen durante la adolescencia en la capacidad de esprintar ocurren por efecto del crecimiento y la maduración (Oliver, Lloyd, & Rumpf, 2013) debido a un aumento muscular, incremento de la fuerza de las piernas, cambios en el tejido musculotendinoso, mejoras en el desarrollo motor y neural, y una mejor calidad de movimiento y coordinación (Oliver & Rumpf, 2014). Sin embargo, el entrenamiento que se dirige específicamente a los elementos físico, metabólicos y neurológicos responsables de los movimientos cortos e impulsivos también puede influir en dichas mejoras (Gevat, Taskin, Arslan, Larion, & Stanculescu, 2012). Aunque parece ser que el entrenamiento de

velocidad aumenta progresivamente su eficacia con el aumento de la madurez (Moran, Sandercock, Rumpf, & Parry, 2017a), pocos estudios han comparado el efecto de mismo programa de entrenamiento sobre diferentes categorías de edad o distintos estados de madurez. Tomando como referencia las características de los entrenamientos extraídos de un meta-análisis (Moran et al., 2017a), se llevó a cabo un estudio (Moran et al., 2018) en el que se comparó el mismo programa de entrenamiento (una sesión a la semana de 16 *sprints* de 20 metros con 90 s de recuperación) en dos grupos de edades distintas (pre-PHV: 9-12 años, y mid-PHV: 13-15 años). Los resultados mostraron que el entrenamiento fue igual de efectivo tanto para pre-PHV como mid-PHV. El análisis entre grupos (control vs experimental) reveló que pre-PHV presentó un gran efecto tanto en 10 como en 20 metros (TE: 1,54 y 1,49; respectivamente). En cambio, el grupo mid-PHV no presentó diferencias con su grupo control. Por lo tanto, parece ser que un entrenamiento de *sprint* de estas características tiene un efecto mayor en atletas más jóvenes (sub-13). En base a lo comentado anteriormente, parece no estar claro los efectos de distintos programas de entrenamiento de velocidad sobre la velocidad en jóvenes de distintas categorías de edad, por lo que se necesitan más estudios que clarifiquen el problema en cuestión.

Para mejorar la velocidad, usando estrictamente entrenamiento de velocidad, los métodos más utilizados son el entrenamiento del *sprint* en línea recta con recuperación pasiva, el entrenamiento de *sprint* resistidos (con arrastres o trineos) y el entrenamiento de *sprint* asistido (provocando alcanzar velocidades que los sujetos no serían capaces de conseguir por sí solos) (Rumpf, Cronin, Pinder, Oliver, & Hughes, 2012). Mientras que los efectos del entrenamiento de *sprint* “lineal” han sido bastante estudiados (Buchheit, Mendez-Villanueva, Quod, Quesnel, & Ahmaidi, 2010; Kotzamanidis et al., 2005; Meckel, Gefen, Nemet, & Eliakim, 2012; Shalfawi et al., 2012; Tonnessen, Shalfawi, Haugen, & Enoksen, 2011; Venturelli, Bishop, & Pettene, 2008), sólo dos estudios han investigado los efectos del entrenamiento de *sprint* resistidos en jóvenes (de Hoyo et al., 2016; Rumpf et al., 2015). Por el contrario, ningún estudio evaluó los efectos del entrenamiento de *sprint* asistido en jóvenes.

Analizando los resultados de los diferentes estudios que utilizaron el entrenamiento de *sprint* “lineal”, Buchheit et al. (2010) encontraron que el entrenamiento de *sprint* lineal de corta duración (<5 s), obtuvo mejores resultados en el tiempo en 10 metros y en un test de *sprint* repetidos que el entrenamiento de *sprint* lineal de larga duración (30 s sobre una distancia de 40 m; ida y vuelta) en jóvenes jugadores de balonmano (~16 años). Shalfawi

et al. (2012) y Tonnessen et al. (2011) estudiaron los efectos de un programa de entrenamiento de *sprint* lineal usando series de 40 metros, con recuperación de 90 s entre repeticiones y 10 min entre series en jugadores de fútbol de ~16 años. Ambos estudios obtuvieron mejoras significativas ($P < 0,01$) en el tiempo en 40 m, 20-40 metros y un test de *sprint* repetidos. Además, Shalfawi et al. también encontraron mejoras significativas ($P < 0,01$) en el tiempo en 20 metros. En relación a las diferencias con el grupo control, Tonnessen et al. encontraron diferencias significativas ($P < 0,05$) en el test de *sprint* repetidos y el tiempo en 20-40 metros (TE: 1,0 y 0,9; respectivamente). Aunque las diferencias en el tiempo en 20 y 40 metros no presentaron significatividad, si tuvieron un efecto a favor del grupo experimental (TE: 0,2 y 0,7; respectivamente). Por su parte, Shalfawi et al. encontraron diferencias significativas ($P < 0,01$) en el test de *sprint* repetidos y tiempo en 40 y 20-40 metros (TE: 2,1; 2,1 y 2,2; respectivamente). Al igual que Tonnessen et al., en este estudio tampoco se encontraron diferencias significativas en el tiempo en 20 metros, aunque si un efecto favorable al grupo experimental (TE: 1,1). Estos resultados parecen indicar que en deportistas de ~16 años, las mejoras se producen sobre aquellas distancias o fases de la carrera que más se aproximan al entrenamiento. En otro estudio, Meckel et al. (2012), analizaron los efectos de dos tipos de entrenamiento de velocidad con distancias e intensidades diferentes pero mismo volumen total (4-6 x 50 m al 100% de la velocidad máxima vs. 4-6 x 200 m al 85% de la velocidad máxima) en jugadores de fútbol menores de 15 años. Los resultados mostraron mejoras significativas en el tiempo en 30 m y en un test de *sprint* repetidos corto (4x10m) en ambos grupos, sin hallarse diferencias significativas entre grupos. Por tanto, parece ser que este tipo de entrenamiento es igual de efectivo para la mejora de acciones de corta duración, a pesar de que en un grupo las distancias de entrenamiento se alejaron de las más utilizadas durante un partido de fútbol. Por otro lado, Venturelli et al. (2008) analizaron los efectos de un entrenamiento de *sprint* lineal con distancias de 10 y 20 metros y recuperación de 60 y 90 s, respectivamente; para un volumen total de 20 repeticiones, en jugadores de fútbol preadolescentes (~11 años). Los resultados mostraron que tanto el grupo control como el grupo experimental mejoraron el tiempo en 20 metros, sin diferencias entre grupos. Esta igualdad en las mejoras se pudo deber a que el grupo control realizó ejercicios de técnica de carrera (velocidad en escalera de coordinación, diferentes *skipping*, etc.). Moran et al, (2017a) llevaron a cabo un meta-análisis con el objetivo de analizar los efectos del entrenamiento de *sprint* sobre la velocidad en jóvenes atletas, y determinar si la literatura científica apoya la idea de que existen periodos específicos

durante la adolescencia donde la adaptación al entrenamiento de velocidad es mayor. Según los resultados de éste meta-análisis, parece ser que las sesiones de entrenamiento para la mejora del *sprint* deberían estar compuestas por una media de 16 *sprints* de 20 metros con una ratio trabajo-descanso de 1:25 o más de 90 segundos de descanso entre repeticiones. Dos sesiones por semana parecen ser adecuadas para mejorar el rendimiento en *sprint* durante 8 semanas. Sin embargo, estos parámetros podrían variar en función del estado de madurez del atleta. Las principales variables a tener en cuenta para la programación del entrenamiento de velocidad son el volumen, la recuperación entre *sprints*, frecuencia, duración y ejercicios. Los autores analizaron los efectos del entrenamiento de velocidad en base a la duración (< 8 semanas o > 8 semanas) y al número de sesiones. Los resultados mostraron mayores efectos en aquellos programas con una duración superior a 8 semanas (TE: 2,06 vs 0,55; >8 semanas y <8 semanas, respectivamente) y con un mayor número de sesiones (TE: 1,69 vs 0,59; >17 sesiones y <17 sesiones, respectivamente). Sin embargo, referente a la frecuencia de entrenamiento, los resultados mostraron que aquellos programas con 2 sesiones de entrenamiento a la semana tuvieron mayor efecto comparado con 1 y 3 sesiones. Estos resultados, sin embargo, hay que tomarlos con precaución ya que el número de estudios analizados con frecuencias de 1 y 3 sesiones a la semana fue menor (4 y 2, respectivamente) que los que utilizaron 2 (10 estudios), por lo que el tamaño de la muestra pudo influir en los resultados, aunque también se ha demostrado que un volumen mayor de entrenamiento no es necesariamente más beneficioso (Cadore et al., 2013). Por tanto, parece ser que las mejoras inducidas por el entrenamiento están en relación con las distancias utilizadas durante el mismo (principio de especificidad). Además, parece ser que entrenamientos de velocidad de más duración (> 8 semanas) presentan mayores efectos sobre la misma.

Por otra parte, el entrenamiento de velocidad resistido, a pesar de ser un método de entrenamiento muy popular en adultos, carece de investigaciones en jóvenes (Rumpf et al., 2015). Diferentes métodos se han utilizado para este tipo de entrenamiento (chalecos o cinturones lastrados, pesas en las partes distales de los miembros inferiores, paracaídas, subir pendientes, carrera en cinta resistida y arrastres de peso) (Rumpf et al., 2015). En jóvenes, sólo 2 estudios han utilizado entrenamiento de velocidad resistida (de Hoyo et al., 2016; Rumpf et al., 2015). Rumpf et al. analizaron los efectos de un mismo programa de entrenamiento de *sprints* resistidos [16 sesiones de 8-10 *sprints* de 15-30 metros con una carga del 2.5, 5, 7.5 y 10% del PC durante 6 semanas (2-3 sesiones/semana)] en

adolescentes (pre-PHV: < 12 años y mid-post-PHV: < 17 años). Los resultados mostraron que el entrenamiento produjo un efecto moderado (TE: 0,74) en mid-post-PHV sobre el rendimiento en 30 metros, sin presentar cambios en pre-PHV. Por su parte, de Hoyo et al. analizaron los efectos de 16 sesiones (8 semanas) de 6-10 repeticiones de *sprint* resistido (12,6% PC) sobre una distancia de 20 metros en jugadores de fútbol sub-19. Los resultados mostraron que el entrenamiento no tuvo efecto sobre el tiempo en 10-20 y 20 metros. En cambio, sobre el tiempo en 10, 30, 50 y 30-50 metros los cambios fueron de pequeños a moderados (TE: 0,11; 0,21; 0,30; y 0,45; respectivamente). Por tanto, aunque más estudios se necesitan al respecto, los resultados parecen indicar que el entrenamiento de *sprint* resistido tiene mayor efecto sobre sujetos mid-PHV.

3.3. Entrenamiento de fuerza, pliometría y velocidad en futbolistas jóvenes o preadolescentes

El entrenamiento de fuerza en fútbol tiene una gran importancia ya que la fuerza máxima está relacionada con la RFD, como refleja las relaciones entre la fuerza de las piernas y el tiempo en *sprint*, salto vertical y cambios de dirección (Comfort et al., 2014; Wisloff et al., 2004), con la reducción del riesgo de sufrir una lesión (Croisier et al., 2008; Peek et al., 2018) y con un menor daño muscular postpartido (Owen et al., 2015). Para el desarrollo de la fuerza, la capacidad de salto y velocidad en jugadores de fútbol jóvenes y preadolescentes, se han utilizado diferentes métodos de entrenamiento. Algunos trabajos han utilizado exclusivamente ejercicios de fuerza (Chelly et al., 2009; Christou et al., 2006; de Hoyo et al., 2016; Styles, Matthews, & Comfort, 2016), pliometría (Chaabene & Negra, 2017; de Hoyo et al., 2016; Diallo et al., 2001; Kobal et al., 2017; Meylan & Malatesta, 2009; Ramirez-Campillo et al., 2015a; Ramirez-Campillo et al., 2015b; Ramirez-Campillo et al., 2014; Sohnlein, Muller, & Stoggl, 2014; Thomas et al., 2009), o entrenamiento de velocidad (de Hoyo et al., 2016; Meckel et al., 2012; Shalfawi et al., 2012; Tonnessen et al., 2011; Venturelli et al., 2008). En cambio, otros han utilizado una combinación de ellos (Faude et al., 2013; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Kotzamanidis et al., 2005; Lopez-Segovia et al., 2010; Otero-Esquina, de Hoyo Lora, Gonzalo-Skok, Dominguez-Cobo, & Sanchez, 2017; Wong, Chamari, & Wisloff, 2010).

De los diferentes estudios que han realizado entrenamiento de fuerza de forma aislada, algunos de ellos utilizaron cargas altas (Chelly et al., 2009; Styles et al., 2016), mientras que otros usaron cargas moderadas-altas (Christou et al., 2006) y moderadas-bajas (de Hoyo et al., 2016). Chelly et al. utilizaron cargas del 70 al 90% en media sentadilla con repeticiones hasta o cercanas al fallo muscular en jugadores de ~17 años, obteniendo mejoras en el CMJ, SJ, velocidad máxima y en 5 metros, y en la 1RM, todas ellas significativas ($P < 0,05$) respecto al grupo control, excepto el CMJ. En otro estudio, Styles et al. utilizaron intensidades y volúmenes similares (85-90%, 3-5 repeticiones por serie) realizando media sentadilla y peso muerto rumano en jugadores sub-19, encontrando mejoras significativas ($P < 0,001$) en el tiempo en 5, 10 y 20 metros y en la 1RM, además de mostrar TEs pequeños (0,31 – 0,62) sobre estas variables. Por otro lado, Christou et al., aunque también utilizaron repeticiones hasta o cercanas al fallo, emplearon intensidades un poco menores (55-80%) en una serie de ejercicios (press de piernas, press banca, press militar, etc.) con jugadores de entre 12 y 15 años. Los resultados mostraron

mejoras significativas ($P < 0,05$) en la 1RM en el press de piernas (TE: 2,77), CMJ (TE: 1,49), SJ (TE: 1,65) y tiempo en 30 m (TE: 0,3). El entrenamiento también provocó mejoras en el tiempo en 10 metros, aunque estas no fueron significativas pese a tener un efecto mayor (TE: 0,41) que sobre el tiempo en 30 metros. En cambio, de Hoyo et al. (2016) utilizando cargas bajas-moderadas (40-60% 1RM) y un volumen bajo de repeticiones por serie (4-8) en jugadores sub-19, encontraron que, con un entrenamiento de estas características, los cambios en el tiempo en 30 m serían posibles, muy probables en el CMJ, tiempo en 10-20 m y 50 m (TE: 0,51; 0,61; y 0,60; respectivamente), y casi seguros en el tiempo en 30-50 m. Aunque los autores no mostraron los efectos sobre la fuerza, otros trabajos con intensidades y volúmenes similares han mostrado su eficacia en jugadores adultos de fútbol sala (Torres-Torrelo, Rodríguez-Rosell, & González-Badillo, 2017). Por tanto, parece ser que no es necesario utilizar cargas altas ni volúmenes altos para obtener mejoras sobre la capacidad de salto y *sprint*.

Respecto al entrenamiento pliométrico, diferentes tipos de entrenamiento pliométrico han mostrado su eficacia sobre la fuerza, capacidad de salto y velocidad. Chaabene et al. (2017) realizaron dos sesiones a la semana de ejercicios pliométricos, una orientada a la mejora del componente vertical y otra al componente horizontal; comparando los efectos de un volumen bajo (50-120 contactos) *versus* un volumen alto (110-220) en jugadores menores de 13 años. Los resultados mostraron que ambos protocolos son efectivos para la mejora del tiempo en 5, 10, 20 y 30 metros, y el salto vertical y horizontal, sin diferencias entre los distintos grupos. En cambio, Kobal et al. (2017), realizando un entrenamiento parecido en los ejercicios (ejercicios de componente vertical y horizontal), pero con un volumen considerablemente menor (de 24 a 72 contactos por sesión) y utilizando sobrecarga externa en jugadores de fútbol menores de 17 años, encontraron que el uso o no de sobrecargas (8% PC) en los ejercicios provocó mejoras sobre la capacidad de salto vertical (CMJ y SJ). Sin embargo, ambos tipos de entrenamiento tuvieron un efecto contraproducente sobre la capacidad de aceleración. Por otro lado, Ramírez-Campillo et al. (2015b) estudiaron la efectividad de un protocolo vertical, horizontal o la combinación de ambos en futbolísticas de entre 10 y 14 años. Los resultados mostraron que, atendiendo al principio de especificidad, el grupo vertical obtuvo aumentos significativamente mayores en los test del plano vertical, y el grupo horizontal en los del plano horizontal. Sin embargo, el grupo combinado mostró aumentos significativos en todas las variables de rendimiento analizadas y un efecto del

entrenamiento más significativo comparado con el grupo control. Aunque los diferentes tratamientos no presentaron diferencias significativas en los cambios, el entrenamiento combinado fue más efectivo que el vertical y el horizontal sobre el rendimiento en *sprint* y cambios de dirección. En otro estudio, Ramírez-Campillo et al. (2015a) compararon los efectos de utilizar ejercicios unilaterales, bilaterales y combinado sobre la capacidad de salto y aceleración en futbolistas de entre 10 y 15 años, encontrando que el entrenamiento unilateral provocó un aumento significativamente mayor en el rendimiento de los test unilaterales, mientras que el uso de entrenamiento bilateral lo hizo en el rendimiento de los test bilaterales. Aunque no se encontraron diferencias entre los diferentes tratamientos, la combinación de ambos produjo un aumento significativamente mayor en el rendimiento de un mayor número de test comparado con el grupo control que los protocolos unilateral y bilateral. Por tanto, parece ser que la combinación de ejercicios con componente vertical y horizontal, o unilateral y bilateral, es más efectiva para la mejora del *sprint* y el salto (vertical y horizontal) que realizarlo por separado. Además, el uso de sobrecargas parece no tener más efecto que el entrenamiento sin carga adicional.

En relación al entrenamiento de velocidad en futbolistas, como indicamos anteriormente, parece ser que las mejoras inducidas por el entrenamiento de velocidad están en relación con las distancias utilizadas durante el mismo (principio de especificidad) (Shalfawi et al., 2012; Tonnessen et al., 2011). Además, parece ser que, para obtener mayores mejoras sobre la capacidad de *sprint*, se necesitan periodos de entrenamiento superiores a 8 semanas. También parece que en futbolistas preadolescentes, el uso de ejercicios de técnica de carrera puede provocar mejoras similares que un entrenamiento de velocidad sobre el tiempo en 20 metros (Venturelli et al., 2008). Por otro lado, en contra de lo que la literatura nos dice sobre la efectividad del entrenamiento resistido para la mejora del rendimiento en *sprint*, especialmente en la fase de aceleración (Alcaraz, Carlos-Vivas, Oponjuru, & Martinez-Rodriguez, 2018), de Hoyo et al. (2016) encontraron que el entrenamiento resistido (12,5% PC) en distancias de 20 metros no presentó efectos sobre esta distancia y menores (10-20 metros). En cambio, sí tuvo pequeños efectos sobre distancias mayores (30-50 metros). Por tanto, el uso de sobrecargas en el entrenamiento de velocidad parece no estar claro en futbolistas adolescentes.

Arriba hemos visto los efectos del entrenamiento de fuerza, pliometría o velocidad de forma aislada. Sin embargo, no sabemos cuál de ellos es más efectivo para la mejora de la fuerza, capacidad de salto o *sprint*. Es por ello, que algunos autores han comparado la

efectividad de diferentes métodos sobre estas variables. De Hoyo et al. (2016) analizaron los efectos de 3 programas de entrenamiento (fuerza, pliometría + velocidad, y velocidad resistida) sobre la capacidad de salto y *sprint* en futbolistas ~18 años. Los resultados mostraron que todos los entrenamientos provocaron mejoras, aunque estas fueron ligeramente mejores en el grupo que entrenó fuerza. La comparación entre grupos reveló que el entrenamiento de fuerza (sentadilla completa, 40-60% 1RM, y un volumen bajo) provocó *posiblemente* mayores mejoras en el CMJ y el tiempo en 50 m, y mejoras *probablemente* mayores en el tiempo en 10-20 y 30-50 metros que el entrenamiento de velocidad resistida, permaneciendo el resto de variables *no claras*. Comparado con el entrenamiento pliométrico, el entrenamiento de fuerza tuvo efectos *probablemente* mayores sobre el tiempo en 10-20 metros y *posiblemente* mayores sobre el tiempo en 30-50 metros, permaneciendo el resto *no claras*. Sin embargo, la comparación entre entrenamiento pliométrico y velocidad resistida resultó *no clara*. Por tanto, parece ser que el entrenamiento de fuerza es más efectivo que el entrenamiento pliométrico + velocidad, y el entrenamiento de velocidad resistida en futbolistas de 18 años para la mejora de la capacidad de salto y *sprint*. En otro estudio (Kotzamanidis et al., 2005) analizó los efectos de realizar entrenamiento de fuerza de forma aislada (6-8RM + velocidad) o combinada con entrenamiento de velocidad (3-8RM) sobre la fuerza, capacidad de salto y *sprint* en futbolistas de ~17 años. Los autores mostraron que ambos protocolos mejoraron significativamente la 1RM en el ejercicio de media sentadilla sin diferencias entre grupos. En cambio, sólo el grupo que realizó entrenamiento combinado obtuvo mejoras significativas y mejores en el ejercicio de SJ, CMJ y Tiempo en 30 m que el resto de grupos que no presentó ningún tipo cambio. Los autores concluyeron que parece ser que la combinación de fuerza + velocidad puede ser más efectiva para la mejora simultánea de fuerza, capacidad de salto y velocidad, que el entrenamiento aislado de fuerza.

Son varios los autores que han utilizado entrenamiento combinado con jugadores de fútbol jóvenes (Faude et al., 2013; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Kotzamanidis et al., 2005; Lopez-Segovia et al., 2010; Otero-Esquina et al., 2017; Wong et al., 2010). González-Badillo et al. (2015) realizaron un entrenamiento combinado que englobó ejercicio de fuerza (sentadilla completa; 45-60 % 1RM, 4-8 repeticiones), pliometría (CMJ con carga, saltos al cajón, saltos de vallas y segundos de triple salto) y velocidad (*sprint*, *sprint* resistido y cambios de dirección) en futbolistas menores de 16 y 18 años, comparado con un grupo control (sub-21). Los resultados mostraron que la variable fuerza

mejoró en todos los grupos (sub-16, sub-18 y sub-21), aunque la comparación entre grupos mostró diferencias significativas a favor de sub-16 comparado con sub-18 ($P < 0,0001$, TE: 1,13) y con sub-21 ($P < 0,0001$, TE: 1,49), mientras que entre sub-18 y sub-21 no existieron diferencias significativas. La capacidad de salto (CMJ) mejoró significativamente en sub-16 y sub-18, existiendo diferencias significativas solamente entre sub-16 y sub-21 ($P < 0,01$, TE: 0,77). En cambio, la variable tiempo en 20 metros no presentó diferencias significativas entre grupos, a pesar de que sub-16 y sub-18 presentaron mejoras (62/48/0% y 87/13/0%, respectivamente). Cabe destacar que sub-16 consiguió con 26 semanas de entrenamiento combinado igualar los niveles de fuerza, salto y *sprint* de jugadores 5 años mayores. En otro estudio, Otero-Esquina et al. (2017) analizaron los efectos de un entrenamiento combinado realizado con dos frecuencias distintas (1 vs. 2 días/semana) en futbolistas menores de 18 años. El entrenamiento se compuso de dos ejercicios de fuerza, pliometría y velocidad resistida. De los ejercicios de fuerza, la sentadilla completa se realizó usando una intensidad que osciló entre 40-50% 1RM (~1,28 a ~1,15 m·s⁻¹), mientras que la velocidad resistida se realizó usando el 20% del PC. Los resultados mostraron que ambas frecuencias de entrenamiento provocaron mejoras significativas sobre la capacidad de salto. Sin embargo, sólo el grupo que entrenó dos días a la semana obtuvo mejoras significativas sobre el tiempo en 10, 10-20 y 20 metros. Por su parte, López-Segovia et al. (2010) llevaron a cabo durante 4 meses con futbolistas menores de 19 años un entrenamiento combinado de similares características al utilizado por González-Badillo et al. (2015), aunque la intensidad utilizada osciló del 55% al 70% de la 1RM. Los autores encontraron mejoras sobre la capacidad de salto en ambos grupos (control y experimental), así como mejoras significativas en la VMP ante diferentes cargas absolutas (20, 30 y 40 kg, para el grupo experimental; 40 y 50 kg, en el grupo control). Sin embargo, el tiempo en *sprint* empeoró significativamente en el grupo experimental, y el análisis entre grupos presentó diferencias significativas a favor del grupo control. Los autores atribuyeron estos cambios a una posible interferencia del volumen de entrenamiento aeróbico con la capacidad de aplicar fuerza y aceleración. Por tanto, parece ser que el entrenamiento combinado de fuerza, pliometría y velocidad, es un método de entrenamiento más efectivo para la mejora de la fuerza, capacidad de salto y *sprint* en jugadores de fútbol menores de edad que realizarlo de forma aislada. Además, parece ser que, para obtener mejoras sobre la capacidad de *sprint*, el entrenamiento se debe realizar 2 veces por semanas. Igualmente,

hay que tener en consideración la carga de entrenamiento aeróbico para evitar posibles interferencias con el entrenamiento de fuerza.

4. Publicaciones

4.1. Estudio I: Efectos de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol jóvenes (sub-15)

4.1.1. Introducción

En el fútbol actual, poseer una condición física bien desarrollada está considerado como un prerrequisito esencial para alcanzar un alto rendimiento durante un partido (Hoff & Helgerud, 2004; Stolen et al., 2005). En varios estudios se ha indicado que la resistencia es una característica importante en jugadores de fútbol para obtener un alto rendimiento (Stolen et al., 2005; Wisloff et al., 1998). Sin embargo, aunque las acciones realizadas a alta velocidad solo constituyen el 1-11 % de la distancia total recorrida en un partido (Stolen et al., 2005), estas representan las acciones más decisivas del juego (Hoff & Helgerud, 2004). De hecho, la mayoría de los goles son precedidos por un *sprint* lineal, salto o cambio de dirección del goleador o del jugador que le asiste (Faude, Koch, & Meyer, 2012). Acciones de este tipo requieren una generación alta de fuerza de los músculos de los miembros inferiores (Meylan & Malatesta, 2009). Por lo tanto, dentro del contexto aeróbico del partido, la fuerza es también una cualidad básica que influye en el rendimiento del juego (Stolen et al., 2005).

La habilidad del sistema neuromuscular para producir fuerza máxima en las piernas distingue entre jugadores de alto nivel y aquellos de menor nivel (Wisloff et al., 1998). Además, se han observado relaciones significativas entre la fuerza de las piernas y el tiempo en *sprint*, salto vertical y cambios de dirección (Comfort et al., 2014). Además, un estudio reciente ha mostrado que la fuerza de las piernas está relacionada con una mayor capacidad para mantener el rendimiento durante un partido (Silva, Magalhaes, Ascensao, Seabra, & Rebelo, 2013). Por consiguiente, un adecuado entrenamiento de fuerza que aumente la fuerza en los músculos apropiados, la aceleración y la velocidad puede mejorar el rendimiento en acciones fundamentales del fútbol como girar, esprintar, saltar y cambiar el ritmo (Stolen et al., 2005).

Tanto periodos de entrenamiento de fuerza de corta como de larga duración han mostrado su utilidad para mejorar la fuerza máxima de las piernas con mejoras simultáneas en la

habilidad de salto, RFD, rendimiento en resistencia intermitente y el tiempo en *sprint* en futbolistas adultos (Helgerud et al., 2011; Hoff & Helgerud, 2004). Sin embargo, existe poca información disponible en la literatura científica sobre el entrenamiento de fuerza en futbolistas jóvenes, a pesar de que está considerado como una herramienta segura y efectiva para mejorar la fuerza muscular y las habilidades motrices en atletas de edad infantil y adolescente (Harries et al., 2012). De este modo, el uso apropiado del entrenamiento ligado al crecimiento natural y los procesos de maduración podría acelerar y mejorar el desarrollo físico (Ford et al., 2011). Sin embargo, hay poca evidencia empírica sobre los efectos y optimización del entrenamiento durante el crecimiento y maduración en futbolistas jóvenes. Estudios previos realizados con futbolistas jóvenes han usado entrenamiento de fuerza con cargas altas (Chelly et al., 2009; Christou et al., 2006; Maio Alves et al., 2010) o una combinación de entrenamiento de fuerza con cargas altas y pliometría (Faude et al., 2013; Kotzamanidis et al., 2005; Moore et al., 2005) para mejorar la fuerza y la potencia. Estas investigaciones han mostrado efectos positivos como resultante de la aplicación de estos métodos, reportando mejoras significativas en el salto vertical y el tiempo en *sprint* (Chelly et al., 2009; Christou et al., 2006; Kotzamanidis et al., 2005; Maio Alves et al., 2010). Sin embargo, el entrenamiento de fuerza realizado con cargas altas y repeticiones al fallo o cercanos a este parecen estar asociado con un alto grado de fatiga (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), lo cual puede obstaculizar la práctica efectiva del entrenamiento técnico-táctico en campo realizado después del entrenamiento de fuerza (Apriantono et al., 2006) y puede tener un mayor riesgo de lesión. De este modo, qué tipo de entrenamiento de fuerza produciría mayores ganancias fuerza con bajo grado de fatiga de manera que se minimice la interferencia con el entrenamiento específico de fútbol en jugadores jóvenes continúa estando poco claro.

Varios autores han sugerido que no es necesario generar excesiva fatiga para mejorar el rendimiento en fuerza (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Izquierdo et al., 2006b) y que la velocidad de desplazamiento de la carga es más o al menos tan importante como la magnitud de la carga *per se* (Pareja-Blanco et al., 2014). Por lo tanto, la combinación de cargas moderadas y pocas repeticiones por serie, desplazando la carga a la máxima velocidad voluntaria, podría ser un estímulo suficiente para inducir adaptaciones neuromusculares relevantes en jóvenes jugadores de fútbol sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Pese a esto, pocos estudios (Gonzalez-Badillo et al., 2015;

Gorostiaga et al., 2004; Lopez-Segovia et al., 2010; Los Arcos et al., 2014) han usado una combinación de entrenamiento de fuerza y pliometría donde los ejercicios de levantamiento de pesas fueran ejecutados con cargas moderadas y volumen bajo. Estos estudios (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gorostiaga et al., 2004; Lopez-Segovia et al., 2010; Los Arcos et al., 2014) fueron llevados a cabo con futbolista adolescentes (18-20 años) y sus resultados mostraron mejoras significativas en la altura del salto, mientras que el efecto en la capacidad de aceleración no estuvo claro. Además, en dos de estas investigaciones (Gorostiaga et al., 2004; Los Arcos et al., 2014), la carga de entrenamiento (% de 1RM) de los ejercicios con pesas no se especificó, lo cual puede dificultar la interpretación de los resultados.

Desde nuestro conocimiento, solo 2 estudios (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Lopez-Segovia et al., 2010) han usado la velocidad de desplazamiento como referencia para prescribir el entrenamiento de fuerza. Esto es posible porque hay una relación muy estrecha ($R^2=0,98$) entre la velocidad de desplazamiento y la carga relativa (% 1RM) (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010). Este novedoso método de evaluación basado en la velocidad de desplazamiento es capaz de valorar la fuerza de los atletas sin la necesidad de llevar a cabo un test de 1RM o un test de XRM. De este modo, en el estudio realizado por López-Segovia et al. (2010), la carga de entrenamiento en el ejercicio de sentadillas completas osciló de $1,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~45 % 1RM) a $0,80 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~70 % 1RM) y se realizó un volumen bajo de entrenamiento (4-8 repeticiones por serie). Sin embargo, no se encontraron mejoras significativas en la capacidad de salto, *sprint* ni fuerza de las piernas después del periodo de entrenamiento. Estos autores (Lopez-Segovia et al., 2010) sugirieron que el alto volumen de entrenamiento de resistencia realizado durante el periodo de intervención pudo atenuar los efectos del entrenamiento de fuerza. Por otro lado, un estudio reciente llevado a cabo por González-Badillo et al. (2015) mostró que 26 semanas de un entrenamiento de fuerza programado a través de la velocidad de ejecución combinado con ejercicios pliométricos en jugadores jóvenes de fútbol produjo similares o mayores ganancias en la fuerza de las piernas, capacidad de salto y *sprint* que 5 años (desde 15-16 a 20-21 años de edad) de sólo entrenamiento de fútbol. Sin embargo, varios estudios han indicado que las mejoras en fuerza y producción de fuerza por unidad de tiempo están relacionadas con el nivel de maduración y los niveles basales de fuerza (Ford et al., 2011; Meylan et al., 2014). Por lo tanto, a pesar de estos resultados, parece necesario seguir estudiando cuál es el efecto de un programa de

entrenamiento de fuerza combinado con pliometría sobre el rendimiento físico en jugadores jóvenes de fútbol (14-15 años). A la luz de las consideraciones anteriores, el objetivo principal de este estudio fue analizar el efecto de añadir al habitual entrenamiento técnico-táctico de fútbol un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y un bajo número de repeticiones por serie combinado con saltos y *sprints* sobre la fuerza de las piernas, capacidad de salto y rendimiento en *sprint* en jugadores de fútbol de 14-15 años durante las primeras 6 semanas de la temporada competitiva. Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis: la realización de un entrenamiento de fuerza con cargas bajas, comprendidas entre $1,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~45 % 1RM) y $1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~60 % 1RM) y bajo volumen, ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible, combinado con saltos y *sprints*, mejora la fuerza muscular y otros factores determinantes del rendimiento físico en el fútbol.

4.1.2. Metodología

A. Tipo de Investigación

Dadas las características de los datos, el **Estudio I** de la presente Tesis Doctoral es una investigación *cuantitativa*. Por el grado de manipulación de las variables y los objetivos del estudio, nuestra investigación es fundamentalmente *experimental*, considerando la variable “*tipo de entrenamiento*” como independiente. Por el enfoque del análisis de los datos, la investigación es en parte *inferencial* y en parte *correlacional*. Por último, la investigación es de carácter fundamentalmente *longitudinal*, ya que analizamos los cambios producidos por el entrenamiento en las diferentes variables analizadas.

B. Muestra

En este estudio participaron 44 jugadores de fútbol jóvenes pertenecientes a 2 equipos diferentes de categoría sub-15. Un equipo fue seleccionado para realizar un entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos, mientras que el otro equipo realizó su entrenamiento de fútbol habitual. Seis jugadores fueron excluidos del estudio por lesión o por ausencia en el post-test. Como consecuencia, el programa de entrenamiento fue completado por 20 y 18 jugadores para el grupo de entrenamiento (GE) y el grupo control

(GC), respectivamente. Las características de los participantes se presentan en la **Tabla 1**. Ambos equipos tenían edad, peso, nivel de maduración y estatura similares, y competían en la misma categoría sub-15 (Primera División Andaluza). Todos los participantes tenían una experiencia en el entrenamiento de fútbol de más de 5 años y no estuvieron ausentes por lesión durante al menos 6 meses antes de participar en el estudio. Ningún grupo tenía experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Para poder tomar parte en la investigación, dichas personas debieron cumplir los siguientes requisitos: **1)** haber realizado entrenamiento de fútbol de forma sistemática durante, al menos, 3 años anteriores a la realización del estudio (un mínimo de 3 veces por semana); **2)** manifestar que no padecen ninguna enfermedad o problema de salud que pudiera suponer un riesgo ante el esfuerzo intenso (por ejemplo: disfunción renal, anomalías cardíacas, enfermedades respiratorias o metabólicas, patologías osteoarticulares, etc.); **3)** manifestar no haber tomado ningún tipo de droga, medicamento o sustancia que pudiera alterar el rendimiento físico y como consecuencia los resultados del estudio; y **4)** estar habituados a la realización de los ejercicios de CMJ y sentadilla completa.

Tabla 1. Características antropométricas de los participantes del grupo control y grupo experimental

Grupo	Edad (años)	Masa (kg)	Altura (m)	MO	PAS (%)
GC	14,7 ± 0,5	63,5 ± 6,9	1,70 ± 0,06	1,00 ± 0,48	95,3 ± 2,0
GE	14,7 ± 0,5	60,3 ± 6,6	1,71 ± 0,05	1,04 ± 0,45	95,4 ± 1,7

GC: grupo control; GE: grupo experimental; MO: años hasta el pico de velocidad de crecimiento; PAS: predicción de estatura adulta.

Una vez seleccionados los sujetos que cumplían con los requisitos, se les informó del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, para que diesen su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado que se adjunta en el **ANEXO 1**, antes de tomar parte en el estudio. Para los jugadores menores de 18 años, se informó de los objetivos y procedimientos de la investigación a los padres o tutores para que ellos, como responsables legales, diesen su consentimiento por escrito.

C. Diseño del estudio

El presente estudio se realizó para analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen combinado con ejercicios pliométricos sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol jóvenes. Para ello, se utilizaron dos equipos sub-15 (GE y GC) durante 6 semanas (septiembre-octubre) de entrenamiento y competición. El GE realizó 2 sesiones de entrenamiento de fuerza a la semana antes del entrenamiento regular de fútbol, mientras que el GC sólo realizó el entrenamiento habitual de fútbol. Ambos grupos realizaban 4 sesiones de entrenamiento a la semana y jugaban un partido de 90 minutos. Cada sesión de entrenamiento tuvo una duración de 2 horas aproximadamente y englobó varias actividades a diferentes intensidades, juegos reducidos, y finalmente 30 min de juego o entrenamiento de alta intensidad. Excepto el entrenamiento de fuerza, el resto de contenidos del entrenamiento fue similar para todos los jugadores del GE y GC. En las dos semanas anteriores a la realización de los test, se llevaron a cabo 4 sesiones de familiarización (2 sesiones por semana) que consistieron en la realización de varias series de entrenamiento de los ejercicios de CMJ y sentadilla completa ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible y realizando una técnica correcta.

Antes de realizar las evaluaciones físicas se tomaron las medidas antropométricas. Se determinó el estado madurativo de los participantes usando los años desde/hasta el PHV [p. ej., compensación madurez = $-7.999994 + (0.0036124 \times \text{edad} \times \text{altura})$ (Moore et al., 2015)] así como la predicción de la estatura adulta (Sherar, Mirwald, Baxter-Jones, & Thomis, 2005). Para evaluar el rendimiento neuromuscular pre- y postentrenamiento se usó una batería de test llevada a cabo en una sola sesión y con una secuencia fija como se describe más adelante. Para evitar posibles interferencias con la realización de los test, no hubo sesiones de entrenamiento fatigantes al menos 2 días antes de la evaluación. Las sesiones de evaluación se llevaron a cabo en el mismo lugar y momento del día (± 1 h) y bajo semejantes condiciones ambientales (21° C y 60 % humedad) para cada uno de los participantes. Se animó a todos los sujetos durante todos los test para que se motivaran a dar el máximo en cada prueba.

D. Variables Objeto de Estudio

Las principales variables analizadas en el **Estudio I** fueron:

- **Tiempo en 10 y 20 metros (T_{10} , T_{20} y T_{10-20}), en segundos:** tiempo necesario para recorrer una distancia de 20 metros, tomando a los 10 metros un parcial intermedio.
- **Altura en el salto vertical (CMJ), en cm:** promedio de los 3 saltos realizados en el test de salto con contramovimiento.
- **IRM estimada (IRM_{est}), en kg:** estimación de la fuerza dinámica máxima durante el ejercicio de sentadilla completa.
- **Velocidad Media Propulsiva (VMP) con las cargas comunes (AV), en $m \cdot s^{-1}$:** calculada como el promedio de las VMP obtenidas con aquellas cargas absolutas del test isoinercial de cargas progresivas que fueron comunes en el test inicial y el test final en el ejercicio de sentadilla completa.
- **VMP ante distintas cargas absolutas, en $m \cdot s^{-1}$:** Cambios en la VMP obtenida con las cargas de 20, 30, 40 y 50 kg ($VMP_{20,30,40,50}$) en el ejercicio de sentadilla completa.

E. Control de las Variables Extrañas

En un estudio de estas características, las posibles variables extrañas o contaminantes que pudieran intervenir en los resultados hacen referencia a:

La validez de los instrumentos de medida

Cada uno de los instrumentos utilizados, como se explica más adelante, mide directamente determinadas variables, por lo que está garantizada su validez con respecto a las mismas, es decir, estamos seguros de que miden lo que se pretende medir en cada caso. Además, todos los instrumentos han sido ya utilizados para el cálculo de estas variables en trabajos científicos previos en los que se ha demostrado su precisión y fiabilidad (Bosquet, Berryman, & Dupuy, 2009; Gonzalez-Badillo et al., 2011; Markovic, Dizdar, & Jaric, 2006; Rampinini et al., 2007).

La ejecución técnica y el cumplimiento de los protocolos en los ejercicios que se aplicarían como test

Este aspecto se controló debidamente en el momento de la realización de los test en cada una de las sesiones programadas. Es razonable aceptar que el efecto de aprendizaje no existió porque, según se ha indicado: 1) se realizaron varias sesiones prácticas previas al inicio de los test, donde se recordó a cada sujeto las instrucciones de ejecución. Además, todas las sesiones de evaluación que componen este estudio se llevaron a cabo bajo la atenta supervisión del equipo de investigadores.

La situación ambiental de cada sesión de test

Las variables situacionales se minimizaron al realizar los participantes las sesiones de evaluación en las mismas condiciones: 1) misma hora del día (\pm 1 horas de diferencia); 2) condiciones de temperatura y humedad de la sala constantes (\sim 20-22° C y \sim 55-65 % de humedad); 3) ausencia de actividad física vigorosa previa el día de realización de los test ni el anterior; 4) periodo de descanso nocturno de al menos 8 horas; realización de la última comida al menos 2 horas antes de la sesión correspondiente. Además, se dieron también las instrucciones pertinentes para que los participantes mantuvieran una dieta similar antes de las sesiones de ejercicio para evitar que este factor pudiera influir sobre los resultados.

F. Evaluaciones y Pruebas Físicas

Análisis antropométrico

Con el propósito de describir adecuadamente la muestra, durante la primera sesión de test de este estudio se realizó una evaluación antropométrica a cada sujeto. Los sujetos estuvieron descalzos y con la menor ropa posible (en pantalón corto o calzoncillos) durante estas mediciones, las cuales se realizaron por duplicado. Las variables determinadas fueron:

- **Masa corporal** (kg): se pesó a los participantes colocándolos en posición erecta, en el centro de una báscula de precisión (Seca 710, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania).

- **Talla** (cm): determinada como la distancia entre el vértex y las plantas de los pies. Se midió con los participantes descalzos, en bipedestación, con los talones, glúteos, espalda y región occipital en contacto con el plano vertical del tallímetro (Seca 710, Seca Ltd., Hamburgo, Alemania)

Pruebas Físicas

- **Test de velocidad en 20 m:** se midió el tiempo en recorrer 10 y 20 metros utilizando unas células fotoeléctricas (Microgate, Bolzano, Italia). Para esto fue necesario colocar 3 marcadores a 0 m, 10 m y 20 m a una altura aproximada de 1.20 m. Las mediciones se realizaron en un recinto cerrado, en una recta de 40 m acondicionada para este tipo de pruebas, con suelo de tartán. Todos los participantes realizaron un calentamiento estandarizado previo de 15 min que consistió en 5 min de carrera continua suave, 4 progresiones (2 min de recuperación entre cada una de ellas) de 30-35 m a intensidad creciente y 2 repeticiones de 10 m a la máxima velocidad posible. Después del calentamiento, los sujetos pasaron a realizar el test de 20 m, con la medición del tiempo parcial al pasar por 10 m. Se realizaron dos intentos con un descanso de 3 min entre cada uno de ellos. Los participantes partieron de una posición de pie con una pierna adelantada y colocada ésta inmediatamente por detrás de la línea de salida que estaba situada 1 m por detrás de la marca de 0 m. Una vez iniciada la carrera, los participantes recorrieron los 20 m establecidos en el menor tiempo posible. El mejor de los dos intentos se utilizó para el análisis posterior.

- **Test de salto con contramovimiento (CMJ):** el CMJ o '*counter movement jump*' es un salto vertical en el que busca alcanzar la máxima elevación del centro de gravedad realizando una flexión-extensión rápida de piernas con la mínima parada entre ambas fases. En este tipo de salto no existe la ayuda de brazos, por lo que se instruyó a los participantes para que mantuvieran las manos en las caderas durante todo el recorrido. Los participantes eligieron libremente el ángulo de flexión de piernas, aunque se recomendó que llegaran aproximadamente hasta un ángulo aproximada de 90°. Para una correcta ejecución, se les pidió a los participantes que durante la fase de vuelo mantuvieran el tronco recto y las piernas rectas con las rodillas y los pies extendidos, y tomaran contacto con el suelo con las puntas de los pies. Después de tomar contacto con

el suelo, los participantes pudieron flexionar las rodillas para amortiguar el impacto de la caída. Por último, para asegurarnos de que el desplazamiento durante el salto fuera totalmente vertical, se colocaron unas líneas verticales separadas por 0.5 m y se les pidió a los participantes que despegaran y cayeran dentro de dicha área. Si los participantes cayeron fuera del área designada, el salto no fue considerado. Previamente se realizó un calentamiento consistente en dos series de diez sentadillas, cinco saltos progresivos y tres saltos máximos. Luego se realizaron 3 saltos máximos. Si estos difirieron mucho entre ellos ($\pm 1,5$ cm), se realizaron 5 saltos, eliminando el mejor y el peor para su posterior análisis.

- ***Test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa:*** Este test se realizó sobre una máquina tipo *Smith* y se utilizó para medir la curva fuerza/carga – velocidad y la $1RM_{est}$. Para su realización, los participantes partieron desde una posición de pie, con las rodillas y las caderas totalmente extendidas, los pies paralelos con una separación entre ellos similar a la anchura de los hombros, y con la barra colocada por detrás de la cabeza apoyada sobre la parte superior de la espalda. A partir de esta posición, se realizó una flexión profunda de las piernas, hasta que la parte posterior del muslo tomara contacto con la parte posterior de las piernas. A diferencia de la velocidad de bajada (fase excéntrica), la cual se realizó a una velocidad controlada ($\sim 0,50 - 0,65 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$), se les pidió a los participantes que ejecutaran la fase de subida (fase concéntrica) a la máxima velocidad posible en cada repetición. Se controló estrictamente que los participantes no saltasen ni se les despegara la barra del cuello al final del recorrido concéntrico. Antes del test, se realizó un calentamiento estandarizado que consistió en 5 min de carrera suave, 5 min de ejercicios de movilidad articular de piernas seguido por dos series de 8 y 6 repeticiones (3 min de recuperación entre ellas) con el propio peso y 20 kg, respectivamente. La carga inicial del test se estableció en 20 kg para todos los participantes, excepto para los sub-13 que se estableció en 17 kg; y se incrementó progresivamente con aumentos de 2,5 a 5 kg en los participantes de menor edad, y de 10 en 10 kg en el resto de participantes hasta que la VMP obtenida durante la fase concéntrica del movimiento fue de $1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (rango de $0,96 - 1,04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$). Este valor fue elegido por varias razones: 1) hay una fuerte relación entre la carga que provoca una velocidad a la barra de $\sim 1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y la $1RM$ en el ejercicio de sentadilla completa (Sanchez-Medina et al., 2011); 2) en posteriores entrenamientos de fuerza, la máxima carga que se usó en el ejercicio de sentadillas fue la carga con la que se alcanzó $\sim 1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, la cual representa

~60 % 1RM (Sánchez-Medina et al., 2017) por lo tanto proporcionó suficiente información por la prescripción del entrenamiento; 3) el uso de cargas altas puede predisponer también a un riesgo de lesión en la flexión de la espina lumbar durante la ejecución del ejercicio (Lander, Hundley, & Simonton, 1992). Durante el test, se realizaron 3 repeticiones cuando la VMP fue superior $1,30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, dos repeticiones cuando la VMP osciló entre $1,30 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ y $1,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$, y sólo una cuando la VMP fue inferior a $1,10 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. El tiempo de recuperación entre series fue de 3 min.

Protocolo de entrenamiento

El entrenamiento de fuerza se compuso de 2 sesiones a la semana, en días no consecutivos, durante un periodo de 6 semanas. Estas sesiones de entrenamiento de fuerza tuvieron una duración de ~35-45 min. Los principales ejercicios del programa de entrenamiento fueron sentadillas completas, saltos, *sprints* y cambios de dirección. La **Tabla 2** muestra con detalles las características del programa de entrenamiento de fuerza. Las cargas utilizadas por cada jugador fueron asignadas acorde a la velocidad de movimiento de la barra obtenida durante el test inicial de cargas progresivas. De este modo, la intensidad relativa en el ejercicio de sentadilla aumentó progresivamente de $\sim 1,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~45 % 1RM) a $\sim 1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~60 % 1RM). El entrenamiento de fuerza se combinó con desplazamientos con cambios de dirección sin cargas adicionales en series de 10 s, series de 6-12 repeticiones de segundos de triple salto, saltos verticales y *sprint* lineal de 20 m. El tiempo de recuperación entre series y entre ejercicios fue de 3 min aproximadamente, excepto para los segundos de triple salto donde el tiempo de recuperación fue de 1-2 min. Se instruyó a todos los participantes para que realizaran todos los ejercicios a la máxima velocidad posible (Pareja-Blanco et al., 2014). Al menos dos investigadores experimentados supervisaron cada sesión de entrenamiento y registraron el cumplimiento y el trabajo individual durante cada sesión de entrenamiento. En todas las sesiones, el calentamiento consistió en 5 min de carrera suave y 3 min de ejercicios de movilidad. Luego se realizaron 2 series de 8 y 6 repeticiones (separados por 3 min de descanso) de sentadilla con cargas menores a la máxima carga programada en cada sesión de entrenamiento.

Tabla 2. Programa de entrenamiento de fuerza

Ejercicios	Sesiones											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SC (S x R) (m · s ⁻¹)	2 x 8 (1,20)	3 x 8 (1,20)	3 x 8 (1,20)	3 x 6 (1,12)	3 x 6 (1,12)	3 x 8 (1,12)	2 x 6 (1,06)	3 x 6 (1,06)	3 x 6 (1,06)	2 x 4 (1,00)	3 x 4 (1,00)	3 x 4 (1,00)
CMJ		3 x 5		3 x 5		3 x 5		3 x 5		3 x 5		3 x 5
2º Triple	6 x 8	6 x 6	6 x 8	6 x 6	6 x 10	6 x 6	6 x 10	6 x 6	6 x 12	6 x 6	6 x 12	6 x 6
CDD (R x T)	3 x 10 s		3 x 10 s		4 x 10 s		4 x 10 s		5 x 10 s		3 x 10 s	
Sprint (R x D)		3 x 20 m		4 x 20 m		3 x 20 m		4 x 20 m		4 x 20 m		3 x 20 m

SC: sentadilla completa; CMJ: countermovement jump; 2º Triple: segunda fase del triple salto; CDD: cambios de dirección; S x R: series x repeticiones; R x T: repeticiones x tiempo; R x D: repeticiones x distancia

G. Instrumental de Evaluación

Máquina tipo Smith

Los test de sentadilla completa se realizaron en una máquina tipo *Smith* (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, España). Esta máquina tiene unas dimensiones de 2,60 m de altura, 2,10 m de ancho y 1,20 m de profundidad, y dispone de dos guías verticales para asegurar el desplazamiento vertical de la barra durante todo el movimiento. Además, dispone de rodamientos de alta calidad que minimizan la fricción de la barra con las guías, con el de asegurar la mayor precisión y fiabilidad posible en las mediciones mecánicas.

Transductor lineal de velocidad

La velocidad de todas las repeticiones se registró con un transductor lineal de velocidad (*T-FORCE Dynamic Measurement System2*, Ergotech Consulting S.L., Murcia, España). El sistema está basado en un transductor lineal – tacogenerador alta precisión – (*V Series*, Unimeasure, Corvalis, EE.UU.) que realiza una medición directa de la velocidad de desplazamiento vertical a la que se extiende o retrae el cable de 2 m que tiene incorporado. Un software desarrollado a medida distingue automáticamente las distintas repeticiones y fases (excéntrica/concéntrica) dentro de una ejecución, permitiendo registrar múltiples series de ejercicio y controlar el entrenamiento de varios deportistas a la vez. Hardware y software se conectan a través de un interfaz USB, el cual consta de una tarjeta electrónica de adquisición de datos dotada de un conversor A/D de 14 bits de resolución que transformaba la señal analógica emitida por el transductor en una señal digital que es recibida por el software. La frecuencia de muestre es de 1.000 Hz, esto es, se recoge un dato de velocidad cada milisegundo. El software tiene incorporado el cálculo de la fase propulsiva del movimiento. La fase propulsiva se define como aquella parte de la fase concéntrica durante la cual la aceleración es mayor que la debida a la gravedad (p.ej. $a \geq -9,81 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$): mientras que la fase de frenando correspondería al resto de la fase concéntrica, aquella durante la cual $a < g$. Este dispositivo ha mostrado tener una alta fiabilidad en la medición de las distintas variables mecánicas (Sanchez-Medina et al., 2011) y ha sido utilizado en multitud de trabajos científicos (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gonzalez-Badillo, Yanez-Garcia, Mora-Custodio, & Rodriguez-Rosell, 2017; Pareja-Blanco et al., 2017c; Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011)

Plataforma de salto

La capacidad de salto se determinó utilizando un zócalo o plataforma de contactos *Optojump* (Microgate, Bolzano, Italia). Este es un sistema de obtención óptica de datos, compuesto de una barra óptica transmisora y una receptora. Cada barra tiene una longitud de 1 m y contiene 96 leds infrarrojos (1.0416 cm resolución). Estos leds están ubicados sobre la barra transmisora (RX) y se comunican continuamente con los leds ubicados en la barra receptora (TX). El sistema detecta eventuales interrupciones y su duración. Esto permite la medición de los tiempos de vuelo y de contacto durante la ejecución de una serie de saltos, con una precisión de 1/1.000 de segundo. Partiendo de esta base de datos fundamentales, el software particularmente diseñado, permite la obtención, con la máxima precisión y en tiempo real, de una serie de parámetros ligados al rendimiento del atleta.

En el caso del salto vertical, la plataforma de contactos *Octojump* cuenta con un sistema de cronometraje electrónico (microprocesador) que se acciona automáticamente en el momento que el participante que está siendo evaluado despega los pies del suelo (abriendo el circuito) y lo cierra en el momento que los pies del participante tocan de nuevo el suelo. Por lo tanto, la información que nos aporta el dispositivo es el tiempo de vuelo (t) (subida + bajada), y también la altura (h) del salto calculada a través de la fórmula: $h = t^2 \cdot g / 8$, donde g es la aceleración de la gravedad. La fiabilidad del sistema *Octojump* para calcular el tiempo de vuelo y la estimación de la altura de salto ha sido analizada recientemente mostrando una alta reproductibilidad (Glatthorn et al., 2011).

Células fotoeléctricas

El tiempo en recorrer 10 (T_{10}) y 20 m (T_{20}) se midió con las células fotoeléctricas RaceTime2 (Microgate, Bolzano, Italia). Estas células fotoeléctricas constan de un transmisor de rayos de luz y un detector. Un haz de luz se establece entre el emisor y un espejo catadióptrico y volver al receptor. Una señal acústica nos indica que ambos elementos están colocados correctamente, uno enfrente del otro. Cuando el deportista atraviesa el haz de luz, situado perpendicularmente a la dirección del movimiento, ésta deja de recibirse en el receptor. Como consecuencia, se interrumpe la corriente y este suceso es detectado electrónicamente determinándose con gran exactitud el momento de

la interrupción. Los tiempos registrados se transmiten vía radio a una unidad central con una precisión de una centésima de segundo (0,01 s) (frecuencia de muestreo de 100Hz).

H. Plan de trabajo

Todos los participantes realizaron los test antes (Pre) y después (Post) de las 6 semanas del periodo experimental. Los test se realizaron en el siguiente orden: 1) test de velocidad en 20 metros; 2) test de salto CMJ; y 3) test de cargas progresivas. Todos los grupos fueron evaluados en horario de tarde (entre las 16:00 y las 21:00 h). Para poder controlar adecuadamente las sesiones de evaluación, el número máximo de participantes en cada turno fue de 5 personas. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 60 min. La duración del estudio, incluyendo las semanas de familiarización, fue de 10 semanas.

I. Análisis estadístico

Se utilizaron métodos estadísticos estandarizados para el cálculo de la media y la desviación típica (DT). La fiabilidad se valoró por medio de los coeficientes de correlación intraclase y los coeficientes de variación. La homogeneidad de la varianza de los grupos (GC vs. GE) se verificó usando el Test de Levene, mientras que la normalidad de los datos se examinó con el Test de Shapiro-Wilk. Se utilizó un análisis de la varianza de medidas repetidas (ANOVA) 2 (grupo: GC, GE) x 2 (tiempo: Pre, Post) para cada variable (Atkinson & Nevill, 1998) para analizar las diferencias entre grupos e intra-grupo. El TE se calculó usando la g de Hedges (Hedges & Olkin, 1985) para estimar la magnitud del efecto del entrenamiento en las variables neuromusculares seleccionadas dentro de cada grupo, de la siguiente manera: $g = (\text{media GE} - \text{media GC}) / \text{DT combinada}$. Las diferencias estandarizadas o los TE para los cambios en las variables dependientes entre grupos (GE vs GC) se calcularon usando los valores de la DT del Pretest combinada de los 2 grupos (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). Además, para las comparaciones entre grupos, se calculó la probabilidad de que los valores reales (desconocido) para cada grupo experimental fuesen *beneficioso/mejor* [i.e., mayor que el mínimo cambio apreciable ($0,2 \times \text{DT}$ entre sujetos del Pretest, basado en el principio de TE de Cohen)], *no claro, perjudicial/peor* para el rendimiento. La probabilidad cuantitativa de que un efecto fuese *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* se

calculó cualitativamente como sigue: <1 %, casi seguro que no; 1-5 %, muy poco probable; 5-25 %, poco probable; 25-75 %, posible; 75-95 %, probable; 95-99 %, muy probable; y >99 %, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* fueron ambas >10 %, la verdadera diferencia se evaluó como *no clara* ((Hopkins et al., 2009). Los coeficientes de correlación de Pearson se calcularon para conocer las posibles relaciones entre los cambios Pre-Post entrenamiento de todas las variables medidas. La estadística inferencial basada en la interpretación de la magnitud de los efectos se calculó usando una hoja de cálculo especialmente diseñada para el análisis de ensayos controlados [Hopkins WG. Analysis of a pre-post-controlled trial (Diciembre, 2006). En Internet: <http://www.sportsci.org>]. El nivel de significación estadístico se fijó en el 5 % ($P \leq 0,05$). Todos los análisis fueron realizados utilizando el paquete de software estadístico SPSS versión 17.0 (SPSS, Chicago, IL).

4.1.3. Resultados

Se encontraron diferencias significativas entre los grupos al inicio del estudio para $1RM_{est}$, AV, VMP₂₀, VMP₃₀, y VMP₅₀ en favor del GC. El cumplimiento con el programa de entrenamiento de fuerza fue del 95,7 % de las sesiones programadas para el GE. Los valores medios, los porcentajes de cambios del pre- al postentrenamiento y el TE para todas las variables analizadas se muestran en la **Tabla 3**.

Cambios en el salto vertical y el tiempo en sprint

Se observó una interacción "tiempo × grupo" significativa a favor del GE para T₂₀ ($P < 0,05$) y CMJ ($P < 0,001$), mientras que no hubo interacción para T₁₀ ($P = 0,25$) y T₁₀₋₂₀ ($P = 0,18$). Se produjo una mejora significativa ($P < 0,05$) en T₁₀₋₂₀, T₂₀ y CMJ, y una tendencia hacia una mejora significativa en T₁₀ ($P = 0,083$) para el GE. No se encontraron cambios significativos en el pre-post en el CMJ ni en el rendimiento en *sprint* para el GC. Se encontraron mayores TE intra-grupo para GE en todas las variables comparado con el CG. Además, el GE presentó un efecto *casi seguramente* mayor en CMJ (con una probabilidad de que las puntuaciones fueran mayores/similares/peores que GC de 100/0/0 en favor del GE) que CG, mientras que los efectos beneficiosos del GE comparado con el CG en T₁₀, T₁₀₋₂₀, T₂₀ fueron *posible* (66/32/3), *posible* (58/41/1) y *probable* (80/20/0), respectivamente (**Figura 1**).

Tabla 3. Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo

	GC				GE			
	Pre	Post	Δ (90 % IC)	TE (90 % IC)	Pre	Post	Δ (90 % IC)	TE (90 % IC)
T ₁₀ (s)	1,79 ± 0,08	1,79 ± 0,06	+0,0 (-1,13 a 1,2)	-0,01 (-0,28 a 0,27)	1,76 ± 0,06	1,74 ± 0,06	-1,3 (-2,5 a 0,0)	-0,35 (-0,71 a 0,0)
T ₁₀₋₂₀ (s)	1,33 ± 0,06	1,32 ± 0,06	-0,1 (-1,5 a 1,2)	-0,03 (-0,31 a 0,25)	1,33 ± 0,06	1,31 ± 0,10 #	-1,3 (-2,5 a -0,5)	-0,25 (-0,40 a -0,11)
T ₂₀ (s)	3,13 ± 0,12	3,13 ± 0,10	+0,2 (-0,6 a 1,0)	-0,05 (-0,14 a 0,25)	3,10 ± 0,11	3,07 ± 0,10 #φ	-1,1 (-1,7 a -0,4)	-0,29 (-0,47 a -0,11)
CMJ (cm)	33,2 ± 3,7	33,4 ± 3,7	+0,6 (-0,8 a 2,0)	0,05 (-0,07 a 0,17)	33,2 ± 4,8	36,2 ± 5,8 ###φφφ	+ 9,0 (6,4 a 11,3)	0,58 (0,41 a 0,72)
1RMest (kg)	76,8 ± 15,3 *	78,6 ± 15,3	+2,4 (-1,4 a 2,6)	0,11 (-0,07 a 0,29)	65,2 ± 13,0	84,0 ± 17,3 ###φφφ	+ 28,5 (22,5 a 34,9)	1,16 (0,93 a 1,38)
AV (m s-1)	1,20 ± 0,06 **	1,23 ± 0,05	+2,1 (0,6 a 3,6)	0,31 (0,08 a 0,53)	1,12 ± 0,09	1,31 ± 0,12 ###φφφ	+ 18,9 (15,5 a 22,3)	1,78 (1,49 a 2,08)

Media ± DT; Pre: evaluación inicial; Post: evaluación final; TE: tamaño del efecto intra-grupo; Δ : cambios Pre-Post; IC: intervalo de confianza; T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: countermovement jump; 1RMest: repetición máxima estimada; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test; Diferencias entre grupos en el Pre: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; Diferencias intra-grupo: # $P < 0,05$; ### $P < 0,001$; Interacción significativa “grupo x tiempo”: φ $P < 0,05$; φφφ $P < 0,001$. Nota: El TE negativo en las variables *sprint* representan un efecto positivo del entrenamiento, ya que las mejoras en el rendimiento en *sprint* representan una disminución del tiempo, lo cual resulta en un TE negativo.

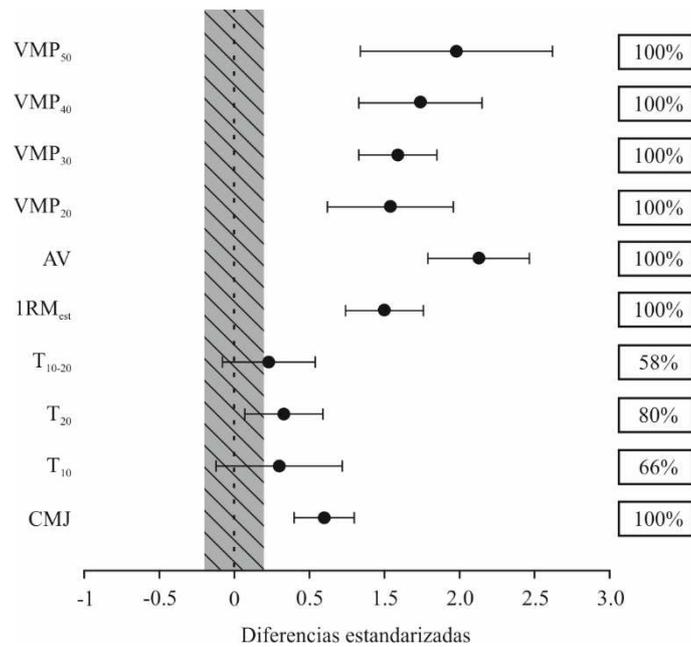


Figura 1. Diferencias en las puntuaciones (IC: 90 %) para los cambios del pre- al post-test en el T₁₀, T₁₀₋₂₀ y T₂₀, CMJ, 1RM_{est}, AV ante las cargas comunes en el pre- y post-test y VMP_{20,30,40} y VMP₅₀ cuando comparamos el GE y el GC. Las áreas grises representan diferencias insignificantes. Además, la probabilidad de los que efectos sean relevantes a efectos prácticos a favor del GE comparado con el GC se muestra en los recuadros.

Cambios en las variables de fuerza

Se observaron interacciones significativas "tiempo × grupo" a favor del GE para las variables 1RM_{est}, AV, VMP₂₀, VMP₃₀, VMP₄₀ y VMP₅₀ ($P < 0,001$; en todos los casos). El GE mostró mejoras significativas en todas las variables medidas durante el test de cargas progresivas, mientras que el GC no obtuvo cambios significativos (**Tabla 3 y Figura 2**). Las diferencias prácticas entre GE y GC mostraron que el entrenamiento de fuerza provocó un efecto *casi seguro* mejor (100/0/0) en 1RM_{est} y AV, así como en VMP₂₀, VMP₃₀, VMP₄₀ y VMP₅₀ que GC.

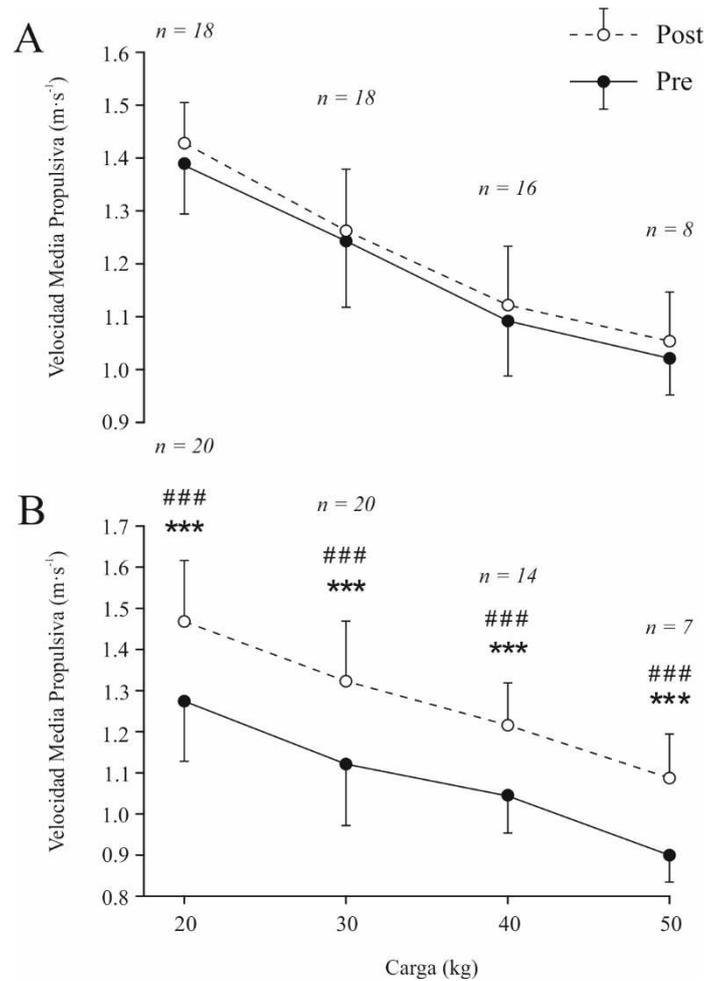


Figura 2. Curva Carga-Velocidad obtenida en el ejercicio de sentadilla completa para el grupo control (**A**) y el grupo de entrenamiento de fuerza (**B**) antes y después del periodo de 6 semanas de entrenamiento. Valores son medias \pm DT. Diferencia significativa dentro del grupo (* $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$). Interacción tiempo x grupo significativa (# $P < 0,05$; ## $P < 0,01$; ### $P < 0,001$). Nota: El tamaño de la muestra en cada carga fue disminuyendo ya que los participantes no necesitaron progresar a esa carga durante el test isoinercial inicial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa.

Correlaciones

Cuando los datos de ambos grupos se agruparon, se observaron correlaciones significativamente negativas entre los cambios relativos individuales en el CMJ y los cambios relativos individuales en el T_{10} ($r = -0,49$; $P < 0,01$) y el T_{20} ($r = -0,59$; $P < 0,001$) (**Figura 3a, b**). Además, también se observaron correlaciones entre los cambios relativos individuales en el CMJ y los cambios relativos individuales en la $1RM_{est}$ ($r = 0,63$; $P < 0,001$), AV ($r = 0,68$; $P < 0,001$) (**Figura 3c**), VMP_{20} ($r = 0,56$; $P < 0,01$), VMP_{30} ($r = 0,72$; $P < 0,001$), VMP_{40} ($r = 0,62$; $P < 0,001$) y VMP_{50} ($r = 0,69$; $P < 0,001$). Los cambios relativos individuales en la $1RM_{est}$ también mostraron una correlación

significativa negativa con los cambios relativos individuales en el T_{20} ($r = -0,37$; $P < 0,05$). No se encontraron relaciones significativas entre los cambios relativos individuales en los parámetros de fuerza y los cambios relativos individuales en el T_{10} y T_{10-20} .

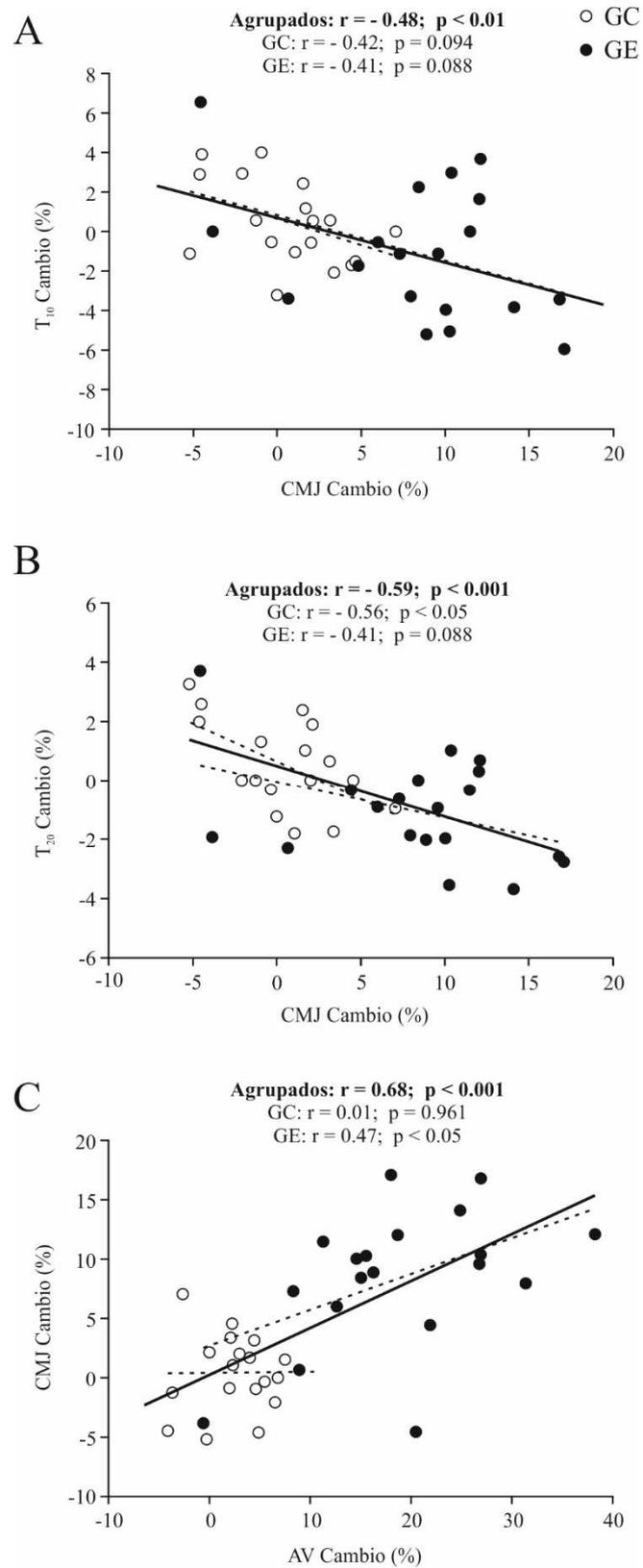


Figura 3. Relaciones entre los cambios relativos individuales en CMJ y los cambios relativos individuales en el T_{10} (A), T_{20} (B) y AV ante las cargas comunes en el pre- y post-test (C) en ambos grupos después del periodo de 6 semanas de entrenamiento.

4.1.4. Discusión

El principal hallazgo de este estudio fue que un entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen combinado con ejercicios de salto y *sprint* provocó importantes mejoras en la fuerza muscular, así como en la capacidad de salto y rendimiento en *sprint* en jugadores de fútbol jóvenes. Concretamente, el GE mostró mejoras significativas en todas las variables analizadas, excepto en T₁₀ ($P = 0,08$), mientras que GC se mantuvo sin cambios después del periodo de intervención. De este modo, los resultados del presente estudio sugieren que jugadores de fútbol jóvenes y entrenados, inicialmente con niveles bajos de fuerza, podrían aumentar su rendimiento físico implementando su entrenamiento habitual de fútbol con un programa de entrenamiento de fuerza de baja frecuencia, cargas bajas y bajo volumen combinado con ejercicios pliométricos, el cual supone un porcentaje muy bajo del tiempo total de entrenamiento de fútbol. Por lo tanto, estos resultados proporcionan evidencias relevantes para justificar la conveniencia de añadir un programa de entrenamiento de fuerza dentro del programa de entrenamiento de fútbol para obtener un mayor desarrollo de la condición física de los jóvenes.

Salto Vertical y tiempo en sprint

Después de las 6 semanas de intervención, el GE mostró mayores mejoras en el rendimiento en salto comparado con el GC (**Tabla 3** y **Figura 1**). En estudios anteriores (Faude et al., 2013; Gorostiaga et al., 2004; Los Arcos et al., 2014; Moore et al., 2005) realizados con jugadores de fútbol jóvenes y adultos se ha mostrado que el entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos tiene efectos beneficiosos sobre el CMJ (1,2–5,1 %; TE: 0,28–0,35), aunque estas mejoras fueron menores que las que se muestran en el presente estudio (9 %; TE: 0,58). Sin embargo, en otros estudios con similares métodos de entrenamiento no se observaron cambios significativos en estas variables (Lopez-Segovia et al., 2010; Ronnestad, Kvamme, Sunde, & Raastad, 2008). En uno de estos estudios (Ronnestad et al., 2008), el ejercicio de levantamiento de pesas se realizó con cargas pesadas y repeticiones al fallo (6–4RM). Aunque se ha demostrado que estas cargas de entrenamiento producen mejoras sobre las acciones de alta velocidad (Christou et al., 2006), parece que usar cargas más ligeras, las cuales se pueden levantar a velocidades absolutas mayores, puede ser igual o incluso más efectivo que usar cargas pesadas que son levantadas a velocidades absolutas menores (Mohamad, Cronin, &

Nosaka, 2012). En otro estudio llevado a cabo por López-Segovia et al. (2010) usaron un diseño parecido al de este estudio. Sin embargo, en el trabajo de López-Segovia et al. (2010), el programa de entrenamiento de fuerza se combinó con gran volumen de trabajo aeróbico. Como se ha indicado en estudios previos (Rønnestad, Hansen, & Raastad, 2012), el entrenamiento de resistencia podría inhibir parte de las adaptaciones resultantes del entrenamiento de fuerza. Esto no ocurrió durante el presente trabajo, lo cual podría explicar las diferencias entre los resultados de ambos estudios.

En relación con el tiempo en *sprint*, el programa de entrenamiento de fuerza produjo mejoras significativas en T₁₀, T₂₀ y T₁₀₋₂₀ en el GE mientras que el GC permaneció sin cambios (**Tabla 3**). Sin embargo, el efecto del entrenamiento fue menor que el tamaño del efecto (TE: -0,53; 95 % IC: 0,23–0,83) y los porcentajes de cambios ($-5,8 \pm 2,5$ %) mostrados en diferentes meta-análisis que analizaron los efectos del entrenamiento combinado en el tiempo en *sprint* en sujetos post-PHV (Behringer et al., 2011; Rumpf et al., 2012). Otros estudios (Faude et al., 2013; Gorostiaga et al., 2004; Lopez-Segovia et al., 2010; Los Arcos et al., 2014; Rønnestad et al., 2008; Rumpf et al., 2012) en los que se analizaron los efectos del entrenamiento de fuerza combinado con pliometría en el *sprint* en distancia cortas en jugadores fútbol jóvenes no provocaron cambios en estas variables a pesar de aumentar la fuerza o la producción de fuerza por unidad de tiempo. Se ha indicado que la transferencia de los efectos del entrenamiento de fuerza hacia el rendimiento en *sprint* puede estar limitada cuando las tareas llevadas a cabo durante el entrenamiento pliométrico que complementa el entrenamiento de fuerza se realizan sólo en el plano vertical, o el volumen de ejercicios específicos de *sprint* es demasiado bajo (Faude et al., 2013; Gorostiaga et al., 2004; Kotzamanidis et al., 2005; Moore et al., 2005). Sin embargo, el contenido de los ejercicios específicos de *sprint* en los estudios anteriormente mencionados fue muy similar a los del presente estudio. Además, excepto el trabajo de Rønnestad et al. (2008) estos estudios (Faude et al., 2013; Gorostiaga et al., 2004; Lopez-Segovia et al., 2010; Los Arcos et al., 2014; Perez-Gomez et al., 2008) emplearon el mismo ejercicio de levantamiento de pesas (sentadilla) con un volumen e intensidad de entrenamiento muy similar al utilizado en nuestro estudio. De este modo, las mayores ganancias obtenidas en el presente estudio podrían estar relacionadas a otros factores, incluyendo el nivel madurativo y el nivel inicial de fuerza de los participantes (Ford et al., 2011). De hecho, parece que la fase sensible de adaptación al entrenamiento para mejoras en el *sprint* aparece en mitad o final del PHV (12–15 años) (Rumpf et al.,

2012). Por tanto, nuestros resultados parecen indicar que el mismo estímulo de entrenamiento podría provocar mayores efectos positivos sobre el *sprint* y el salto vertical en jugadores jóvenes ya que ellos pueden estar en una condición fisiológica más favorable (mayores niveles hormonales e incompleta mielinización del sistema nervioso) para el desarrollo de la fuerza que jugadores adultos.

Rendimiento en fuerza

El rendimiento en fuerza se ha medido habitualmente a través de test de 1RM o XRM. Sin embargo, la medición directa y precisa de la 1RM puede ser difícil de obtener si la velocidad de movimiento de la 1RM no se controla adecuadamente (Gonzalez-Badillo & Sanchez-Medina, 2010). Además, el uso de cargas muy pesadas puede aumentar el riesgo de lesión, especialmente en niños y sujetos sin experiencia previa en el entrenamiento de la fuerza. Por esta razón, nosotros hemos evaluado el efecto de un entrenamiento de fuerza sobre la fuerza muscular a través de los cambios en la velocidad de movimiento obtenidos ante diferentes cargas absolutas comunes del pre- y post-test, como se ha hecho previamente en otros trabajos con jugadores de fútbol (Campos-Vazquez et al., 2015; Lopez-Segovia et al., 2010). Esto es posible gracias al desarrollo de nuevos dispositivos (transductores de posición lineal, encoders rotatorios, acelerómetros, etc.) que nos permiten la medición directa de muchas variables cinéticas y cinemáticas que se pueden usar para valorar los efectos del entrenamiento de fuerza. Dado que el cambio de la velocidad de movimiento ante la misma carga absoluta depende directamente de la fuerza aplicada, un aumento de la velocidad de desplazamiento es un indicador de mejora de la fuerza. Por tanto, parece que esta forma de medir los cambios en la fuerza podría prevenir y evitar algunos errores que pudieran ocurrir durante la medición directa de la 1RM.

En relación con lo anterior, los resultados de nuestro estudio muestran que sólo 6 semanas de entrenamiento de fuerza con cargas bajas (45–60 % 1RM) y pocas repeticiones por serie produjeron ganancias significativas en las VMP ante distintas cargas (20, 30, 40 y 50 kg) (**Figura 2**). La magnitud del cambio de la velocidad de movimiento ante las diferentes cargas absolutas (TE = 1,17–2,28) en el presente estudio fue considerablemente mayor que la mostrada en el estudio realizado por López-Segovia et al. (2010) a pesar de que ese estudio fue de mayor duración (16 semanas) que el presente estudio (6 semanas) y que los niveles iniciales de fuerza fueron similares. Como hemos mencionado

anteriormente, la discrepancia con nuestros resultados podría deberse al hecho de que en este estudio (Lopez-Segovia et al., 2010) el entrenamiento de fuerza fue combinado con una gran cantidad de trabajo aeróbico, lo cual pudo hacer que las ganancias de fuerza fueran menores. Además, nuestros jugadores eran más jóvenes que los que participaron en el estudio de López-Segovia et al. (2010). Así, es posible que los jugadores de nuestro estudio estuvieran en el llamado *periodo crítico* (ventana de la entrenabilidad) para el desarrollo de la fuerza, el cual puede favorecer las adaptaciones inducidas por el entrenamiento de fuerza (Meylan et al., 2014). Por tanto, tan importante es realizar un entrenamiento de fuerza durante la fase sensible como que dicho entrenamiento de fuerza sea adecuado.

Por otro lado, las mejoras mostradas por el GE en la $1RM_{est}$ comparadas con el GC (25,6 %; TE = 1,00) fueron similares a las observadas en estudios anteriores (7–30 %) (Chelly et al., 2010; Faude et al., 2013; Kotzamanidis et al., 2005; Moore et al., 2005) en jugadores de fútbol con una duración y frecuencia de entrenamiento similares. Sin embargo, estos estudios utilizaron un entrenamiento de fuerza con mayores cargas (70–95 % 1RM) y repeticiones por serie al fallo muscular o cercanas a éste. Este tipo de entrenamiento de fuerza puede obstaculizar la práctica eficaz con balón durante el posterior entrenamiento técnico-táctico debido al inicio de la fatiga muscular localizada (Apriantono et al., 2006) y puede generar un mayor riesgo de lesión. Considerando estos resultados, parece que las mayores velocidades asociadas con la movilización de cargas de entrenamiento más ligeras podrían compensar la menor intensidad relativa. Por tanto, el entrenamiento de fuerza del presente estudio, en el que se combinan cargas bajas y bajo volumen con un periodo de descanso suficiente entre series puede ser una buena alternativa para obtener mejoras en el rendimiento físico produciendo una menor interferencia con el entrenamiento específico de fútbol.

Correlación entre los cambios en la fuerza, el salto vertical y el tiempo en sprint

Cuando se combinaron los datos de ambos equipos, se observaron correlaciones negativas significativas entre los cambios relativos individuales –con respecto al pretest– en CMJ y los cambios relativos individuales en T₁₀ y T₂₀ (**Figura 3a y b**). En estudios previos llevados a cabo con jugadores de fútbol jóvenes (Gorostiaga et al., 2004) se han observado resultados similares. Estas relaciones están en concordancia con aquellos análisis

biomecánicos del *sprint* que muestran que el rendimiento de *sprint* en distancias cortas es altamente dependiente de la capacidad del sujeto para generar extensiones potentes de los músculos extensores de rodilla, extensores de cadera y flexores plantares (Gorostiaga et al., 2004). Por otro lado, se observó una correlación significativa entre los cambios relativos individuales en $1RM_{est}$ y los cambios relativos individuales en CMJ ($r = 0,63$; $P < 0,001$) y T_{20} ($r = -0,37$; $P < 0,05$). Estas relaciones sugieren que las mejoras conseguidas en CMJ y el tiempo en *sprint* fueron parcialmente debido al aumento de la fuerza de los miembros inferiores. El hecho de que la correlación entre $1RM_{est}$ y el CMJ fuera mayor que la correlación entre $1RM_{est}$ y el T_{20} se podría explicar a través del principio de especificidad del entrenamiento, ya que parecen existir mayores similitudes biomecánicas entre el ejercicio de sentadilla y el CMJ (p.ej. extensión de las articulaciones de la cadera, rodilla y tobillo); fuerza aplicada simultáneamente con ambos pies; mayor tiempo de contacto con el suelo; etc.) que entre el ejercicio de sentadilla y el *sprint*.

Análisis de la carga de entrenamiento

La carga de entrenamiento (kg) en el ejercicio de sentadilla completa se estableció en función a la velocidad alcanzada ante diferentes cargas (pesos) durante el test inicial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadillas. De este modo, la mínima carga programada o carga inicial fue el ~45 % (~1,20 m·s⁻¹) y la máxima y última el ~60 % (~1,00 m·s⁻¹) de la 1RM estimada en el test inicial. Estos porcentajes se tradujeron en los pesos correspondientes a cada deportista para todo el ciclo, no ajustándose estos a los posibles cambios de rendimiento experimentados por los deportistas durante el periodo de entrenamiento (**Tabla 2**). Al final del entrenamiento se comprobó que la mejora media en $1RM_{est}$ en sentadilla fue el 29,51 %, por lo que es razonable asumir que la carga relativa máxima utilizada –cargas de las últimas sesiones– durante el programa entrenamiento de fuerza no fue el ~60 % 1RM. Concretamente, la carga media utilizada en las 3 últimas sesiones de entrenamiento representó $45,74 \pm 7,26$ % de la $1RM_{est}$ del post-test ($38,05 \div 83,95 \times 100$, donde 38,05 es el promedio de la carga absoluta utilizada en las 3 últimas sesiones de entrenamiento y 83,95 es la media de la $1RM_{est}$ del GE en el post-test). Estos resultados parecen indicar que, como término medio, la carga relativa (% 1RM) del ejercicio de sentadilla completa permaneció prácticamente estable durante las 6 semanas

del entrenamiento de fuerza y que, por tanto, durante este periodo sólo aumentó la carga absoluta (kg). Al analizar los cambios experimentados por cada participante, se comprobó que la mayoría de los jugadores del GE (16 jugadores) entrenó con una carga máxima inferior o igual al 50 % 1RM (**Figura 4**). Por tanto, nuestros resultados indican, como mínimo, que simplemente midiendo la velocidad de ejecución en el test inicial y final de entrenamiento, se puede conocer la alta variabilidad de la respuesta al entrenamiento de sujetos de características semejantes en edad, tiempo y tipo de entrenamiento y entorno social, que el entrenamiento –aparentemente igual para todos cuando se programó fue muy distinto para cada participante, que la mitad de los sujetos entrenó en regresión en términos relativos y que, en sujetos de estas características, para mejorar la fuerza puede ser suficiente aumentar de manera progresiva la carga absoluta de entrenamiento aunque la intensidad relativa sea estable o incluso tienda a disminuir a lo largo del periodo de entrenamiento. Además, se comprueba que para obtener mejoras relevantes en el rendimiento de jugadores de fútbol jóvenes no hay necesidad de usar cargas pesadas o con repeticiones al fallo muscular.

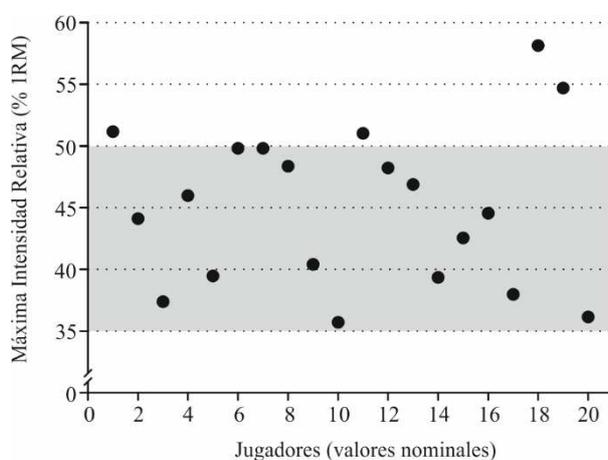


Figura 4. Máxima carga relativa utilizada en las 3 últimas sesiones para cada jugador del grupo de entrenamiento de fuerza. Los valores del eje-X representan valores nominales.

4.1.5. Conclusiones

Las principales conclusiones del Estudio I fueron las siguientes:

- Un programa de entrenamiento de fuerza consistente en levantamiento de pesas con cargas bajas y bajo volumen combinado con ejercicios pliométricos y *sprint*, además del entrenamiento habitual de fútbol, produjo importantes ganancias en fuerza, altura de salto y rendimiento en *sprint* comparado con realizar sólo el entrenamiento habitual de fútbol.
- Aunque la máxima carga relativa (% 1RM) programada para el entrenamiento de fuerza fue de ~60 % 1RM, se concluye que las mejoras ocurridas durante el periodo de entrenamiento se debieron, como término medio, a la aplicación de una intensidad estable de ~45 % de la 1RM inicial, y que la mitad de los jugadores entrenó con cargas relativas progresivamente menores con respecto a la inicial durante el ciclo de entrenamiento. Por consiguiente, en sujetos de las características de los participantes en este estudio, puede ser suficiente en la mayoría de los casos aumentar la carga absoluta durante un ciclo de entrenamiento.
- La medida de la velocidad de ejecución de las mismas cargas absolutas antes y después de un periodo de entrenamiento puede proporcionar información relevante para conocer con bastante precisión la respuesta individual de los sujetos y la carga relativa real de entrenamiento que ha provocado un efecto determinado.

4.1.6. Aplicaciones prácticas

Nuestros resultados indican que sería recomendable que, al entrenar a sujetos de las características de los participantes en nuestro estudio, tanto en relación con el deporte como con la edad y experiencia deportiva, el entrenamiento de fuerza se realizara con cargas bajas, ejecutando cada repetición y cada ejercicio a la máxima velocidad posible. Además, dado que el entrenamiento de fuerza aplicado en este estudio tiene una duración corta y produce bajos niveles de fatiga (Pareja-Blanco et al., 2017c), éste puede ser fácilmente aplicado dos veces por semana antes del habitual entrenamiento técnico-táctico de fútbol en campo.

4.1.7. Limitaciones

La principal limitación de este estudio, y que a su vez dio lugar a uno de los principales hallazgos, fue la imposibilidad de realizar controles intermedios para ajustar la carga de entrenamiento o entrenar con un medidor de la velocidad obteniendo información inmediata del estado actual de los sujetos para así garantizar la correcta aplicación del programa de entrenamiento planificado.

4.2. Estudio II: Efectos de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría y ejercicios de velocidad sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol sub-13.

4.2.1. Introducción

Durante un partido de fútbol, los jugadores realizan de 1000 a 1400 acciones, principalmente de corta duración, con frecuentes cambios de velocidad o de dirección o de ambos cada 4-6 segundos. Además, los jugadores realizan un *sprint* cada 70-90 segundos aproximadamente, con una duración media de 2 a 4 segundos (Stolen et al., 2005; Stroyer, Hansen, & Klausen, 2004). De este modo, en el contexto físico del juego, las habilidades relacionadas con la potencia y la velocidad (p. ej. esprintar, cambiar de ritmo/dirección, choques, acelerar/desacelerar, saltar, golpear) se consideran fundamentales para rendir con éxito en el fútbol (Reilly, Bangsbo, & Franks, 2000; Stolen et al., 2005). De hecho, los momentos más decisivos del juego, tales como ganar la posesión del balón, anotar un gol, realizar una asistencia, o evitar un gol, dependen de la capacidad de los jugadores para realizar estas tareas de alta velocidad (Faude et al., 2012; Reilly et al., 2000). Este tipo de actividades requieren una alta producción de fuerza en la unidad de tiempo con las piernas (Meylan & Malatesta, 2009). Por tanto, debido a la importancia de los esfuerzos explosivos en el resultado final de un partido de fútbol, se cree que el entrenamiento de fuerza es necesario para los jugadores de fútbol adultos y jóvenes para estar físicamente bien preparados para la competición.

Durante muchos años, el entrenamiento de fuerza se ha considerado peligroso para los niños ya que se creía que interfería en el crecimiento y tenía un riesgo alto de lesión (Blimkie, 1993). Sin embargo, varias revisiones (Behringer et al., 2011; Faigenbaum & Myer, 2010), así como diversos "*positional stands*" publicados por estamentos asesores han disipado las preocupaciones relativas al uso, la seguridad y eficacia del entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes, indicando que este tiene efectos beneficiosos sobre la salud y el rendimiento deportivo. Por consiguiente, el uso apropiado de un programa de entrenamiento de fuerza ligado al crecimiento natural y los procesos de maduración podría acelerar y mejorar el desarrollo físico en sujetos de edades tempranas (Ford et al., 2011). Sin embargo, hay una falta de evidencia científica sobre los efectos y optimización del entrenamiento de fuerza durante el crecimiento y maduración en jugadores de fútbol jóvenes.

La mayoría de estudios llevados a cabo con jugadores de fútbol en el inicio o mitad de la pubertad (menores de 14 años) han utilizado entrenamiento pliométrico (Diallo et al., 2001; Meylan & Malatesta, 2009; Ramirez-Campillo et al., 2014). Estos estudios (Diallo et al., 2001; Meylan & Malatesta, 2009; Ramirez-Campillo et al., 2014) reportaron que este tipo de entrenamiento produjo un importante aumento en la capacidad de salto vertical (4-11 %, TE 0,20-0,92) y capacidad de aceleración (2,1-3,2 %, TE 0,57-0,94), pero no se estimó la fuerza a través de ningún otro ejercicio como sentadilla o similares. Por lo tanto, añadir uno o más ejercicios de levantamiento de pesas al entrenamiento pliométrico puede ser una intervención apropiada para mejorar la capacidad motora y la fuerza muscular en niños. De hecho, varios estudios sugieren que los cambios en el salto, *sprint* y fuerza, resultantes de la realización de un programa de entrenamiento combinado de fuerza y pliometría, son mayores que la realización de cada uno de ellos por separado (Faigenbaum et al., 2007b; Fatouros et al., 2000).

En varios estudios se ha analizado la eficacia de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría en jugadores de fútbol adolescentes (Gorostiaga et al., 2004; Kotzamanidis et al., 2005) y adultos (Los Arcos et al., 2014; Ronnestad et al., 2008). Los estudios de entrenamiento combinado de fuerza y pliometría en niños prepuberales o en el comienzo de la pubertad son escasos (Faigenbaum et al., 2007b; Ingle, Sleaf, & Tolfrey, 2006; Meylan et al., 2014), mientras que, para nuestro conocimiento, no se ha llevado a cabo ningún estudio con jugadores de fútbol previos al PHV. Además, en algunas de las investigaciones anteriormente citadas (Kotzamanidis et al., 2005; Ronnestad et al., 2008), el entrenamiento de fuerza se realizó con cargas altas (85-90 % de la 1RM) y repeticiones cercanas o hasta alcanzar el fallo muscular. Aunque la aplicación de este método de entrenamiento provoca cambios positivos en las ganancias de fuerza (Christou et al., 2006; Faigenbaum et al., 2002), parece que el entrenamiento de fuerza con cargas altas puede obstaculizar la práctica efectiva del posterior entrenamiento técnico-táctico realizado en campo como consecuencia del comienzo de la fatiga muscular localizada (Draganidis et al., 2013). Como alternativa, varios estudios han mostrado que el entrenamiento de fuerza con cargas ligeras produce efectos positivos sobre las ganancias de fuerza similares a los obtenidos con cargas altas, siempre y cuando el entrenamiento se realice a la máxima velocidad voluntaria posible (Moss, Refsnes, Abildgaard, Nicolaysen, & Jensen, 1997). Además, parece que las velocidades y aceleraciones más altas asociadas al entrenamiento con cargas ligeras pueden ser un método mejor para

inducir mayores mejoras en el rendimiento físico que los levantamientos de cargas pesadas las cuales se realizan a velocidades más bajas (Wilson, Newton, Murphy, & Humphries, 1993). Por tanto, la combinación de cargas moderadas y pocas repeticiones por serie, desplazando la carga a la máxima velocidad voluntaria posible, podría ser un estímulo positivo para inducir adaptaciones neuromusculares relevantes en jugadores de fútbol jóvenes sin experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Sin embargo, pocos estudios han usado un programa de entrenamiento de fuerza combinado con pliometría en el cual los ejercicios de levantamiento de pesas se realizaron con cargas bajas y bajo volumen (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Gorostiaga et al., 2004; Los Arcos et al., 2014). Además, todos estos estudios se llevaron a cabo con jugadores de fútbol post puberales (15-20 años). Por lo tanto, se necesitan más investigaciones para conocer los efectos de realizar un programa de entrenamiento similar con jugadores de fútbol más jóvenes. A la luz de lo anteriormente comentado, el objetivo principal de este estudio fue examinar los efectos de 6 semanas de un entrenamiento de fuerza con cargas bajas (~45-60 % 1RM) y bajo volumen (2-3 series y 4-8 repeticiones por serie) combinado con saltos y *sprint* sobre la fuerza de las piernas, capacidad de salto y capacidad de aceleración en jugadores de fútbol menores de 13 años. Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis: la realización de un entrenamiento de fuerza con cargas bajas, comprendidas entre 1,20 m·s⁻¹ (~45 % 1RM) y 1,00 m·s⁻¹ (~60 % 1RM) y bajo volumen, ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible, combinado con saltos y *sprints*, mejora la fuerza muscular y otros factores determinantes del rendimiento físico en el fútbol.

4.2.2. Metodología

A. Tipo de investigación

El **Estudio II** tiene unas características similares al **Estudio I**, por tanto, se trata de una investigación *cuantitativa*, y fundamentalmente *experimental*, considerando la variable “*entrenamiento*” como independiente. La investigación es *inferencial*, *correlacional* y de carácter fundamentalmente *longitudinal*.

B. Muestra

En este estudio participaron 36 jugadores de fútbol de 2 equipos (sub-13) pertenecientes al mismo club. Los jugadores fueron ordenados conforme a su rendimiento en el test CMJ y el T₁₀ y posteriormente distribuidos aleatoriamente en el grupo de entrenamiento de fuerza (GE) o en el grupo control (GC). Sólo aquellos jugadores que participaron en al menos el 85 % de las sesiones de entrenamiento se incluyeron en el análisis estadístico. Debido a lesión o enfermedad, 3 jugadores de cada grupo se perdieron demasiadas sesiones de entrenamiento o se ausentaron en el post-test. De este modo, de los 36 jugadores que comenzaron inicialmente el estudio, sólo 15 jugadores de cada grupo se tuvieron en cuenta para el análisis estadístico. Las características de los participantes se presentan en la **Tabla 4**. Todos los participantes tenían una experiencia en el entrenamiento de fútbol de más de 3 años y no estuvieron ausentes por lesión durante al menos 6 meses antes de participar en el estudio. Ningún grupo tenía experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Los requisitos necesarios para participar en este estudio han sido descritos previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.B).

Tabla 4. Características físicas de los participantes (media \pm DS).

Grupo	Edad (años)	Masa (kg)	Altura (m)	MO	PAS (%)
GC	12,8 \pm 0,5	50,4 \pm 5,0	1,59 \pm 0,06	-0,72 \pm 0,34	88,5 \pm 1,7
GE	12,7 \pm 0,5	47,6 \pm 8,0	1,58 \pm 0,08	-0,77 \pm 0,52	87,6 \pm 2,4

GC: grupo control; GE: grupo entrenamiento de fuerza; MO: años hasta el pico de velocidad de crecimiento; PAS: predicción de estatura adulta.

Una vez seleccionados los sujetos que cumplían con los requisitos, se les informó del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, para que dieran su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado que se adjunta en el **ANEXO 1**, antes de tomar parte en el estudio. Para los jugadores menores de 18 años, se informó de los objetivos y procedimientos de la investigación a los padres o tutores para que ellos, como responsables legales, dieran su consentimiento por escrito.

C. Diseño del estudio

El presente estudio se realizó para analizar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza de 6 semanas con cargas bajas combinado con ejercicios pliométricos sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol preadolescentes. Para abordar este objetivo, 30 jugadores de fútbol jóvenes fueron asignados aleatoriamente a dos grupos: GE (n = 15) y GC (n = 15). El GE realizó 2 sesiones de entrenamiento de fuerza a la semana antes del entrenamiento regular de fútbol, mientras que el GC sólo realizó el entrenamiento habitual de fútbol. Todos los jugadores, independientemente del grupo, realizaban 4 sesiones de entrenamiento a la semana y jugaban un partido amistoso de 90 minutos. Cada sesión de entrenamiento tuvo una duración de 2 horas aproximadamente y englobó varias actividades a diferentes intensidades, juegos reducidos, y finalmente 20 min de juego o entrenamiento de alta intensidad. Excepto el entrenamiento de fuerza, el resto de contenidos del entrenamiento fue similar para todos los jugadores del GE y GC. En las dos semanas anteriores a la realización de los test se llevaron a cabo 4 sesiones de familiarización (2 sesiones por semana) que consistieron en la realización de varias series de entrenamiento de los ejercicios de CMJ y realizando una técnica correcta.

Antes de realizar las evaluaciones físicas se tomaron las medidas antropométricas. Se determinó el estado madurativo de los participantes usando los años desde/hasta el PHV [p. ej., compensación madurez = $-7,999994 + (0,0036124 \times \text{edad} \times \text{altura})$ (Moore et al., 2015)] así como la predicción de estatura adulta (Sherar et al., 2005). Para evaluar el rendimiento neuromuscular pre- y postentrenamiento se usó una batería de test llevada a cabo en una sola sesión y con una secuencia fija como se describe más abajo. Para que no hubiera interferencia en los test, no hubo sesiones de entrenamiento fatigantes al menos 2 días antes de la evaluación. Las sesiones de evaluación se llevaron a cabo en el mismo lugar y momento del día (± 1 h) y bajo semejantes condiciones ambientales (21° C y 60 % humedad) para cada uno de los participantes. Se animó a todos los sujetos durante todos los test para ayudarles a motivarse para dar el máximo rendimiento en cada prueba.

D. Variables Objeto de Estudio

Las principales variables analizadas en el **Estudio II** fueron:

- *Tiempo en 10 y 20 metros (T_{10} , T_{20} y T_{10-20}), en segundos.*
- *Altura en el salto vertical (CMJ), en cm.*
- *IRM estimada (IRM_{est}), en kg.*
- *VMP con las cargas comunes (AV), en $m \cdot s^{-1}$.*

Estas variables ya han sido descritas previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.D).

E. Control de Variables Extrañas

Este apartado ya ha sido descrito previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.E).

F. Evaluaciones y Pruebas Físicas

Análisis antropométrico

- *Masa corporal (kg).*
- *Talla (m).*

Estas evaluaciones se han descrito previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.F).

Pruebas físicas

- *Test de velocidad en 20 m.*
- *Test de salto con contramovimiento (CMJ).*
- *Test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa.*

La realización de estas pruebas ya ha sido descrita previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.F).

Protocolo de entrenamiento

El entrenamiento de fuerza se compuso de 2 sesiones a la semana, en días no consecutivos (lunes y jueves), durante un periodo de 6 semanas usando como ejercicios la sentadilla completa en peso libre, saltos, *sprints* y cambios de dirección. Estas sesiones de entrenamiento de fuerza tuvieron una duración de ~35 min, y se llevaron a cabo antes del entrenamiento técnico-táctico en campo. Las cargas utilizadas por cada jugador fueron asignadas acorde a la velocidad de movimiento de la barra obtenida durante el test inicial de cargas progresivas. De este modo, la intensidad relativa en el ejercicio de sentadilla aumentó progresivamente de $\sim 1,20 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\sim 45 \% \text{ 1RM}$) a $\sim 1,00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($\sim 60 \% \text{ 1RM}$). La **Tabla 5** muestra con detalles los ejercicios, frecuencia semanal, número de repeticiones, número de series, y la intensidad de los ejercicios del programa de entrenamiento. El tiempo de recuperación entre series y entre ejercicios fue de 3 min aproximadamente. Se instruyó a todos los participantes para que realizaran todos los ejercicios a la máxima velocidad posible (Pareja-Blanco et al., 2014). Al menos dos investigadores experimentados supervisaron cada sesión de entrenamiento y registraron el cumplimiento y el trabajo individual durante cada sesión de entrenamiento. En todas las sesiones, el calentamiento consistió en 5 min de carrera suave y 3 min de ejercicios de movilidad. Luego se realizaron 2 series de 8 y 6 repeticiones (separados por 3 min de descanso) de sentadilla con cargas menores a la máxima carga programada en cada sesión de entrenamiento.

G. Instrumental de Evaluación

Máquina tipo Smith

Transductor lineal de velocidad

Plataforma de Salto

Células fotoeléctricas

Las características de estos instrumentos ya han sido descritas previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.G).

H. Plan de trabajo

El plan de trabajo ya ha sido descrito previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.H).

Tabla 5. Programa de entrenamiento de fuerza

Ejercicios	Sesiones											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
SC (S x R) ($m \cdot s^{-1}$)	2 x 8 (1,20)	3 x 8 (1,20)	3 x 8 (1,20)	3 x 6 (1,12)	3 x 6 (1,12)	3 x 8 (1,12)	2 x 6 (1,06)	3 x 6 (1,06)	3 x 6 (1,06)	2 x 4 (1,00)	3 x 4 (1,00)	3 x 4 (1,00)
CMJ		3 x 5		3 x 5		3 x 5		3 x 5		3 x 5		3 x 5
CDD (R x T)	3 x 10 s		3 x 10 s		4 x 10 s		4 x 10 s		5 x 10 s		3 x 10 s	
<i>Sprint</i> (R x D)		3 x 20 m		4 x 20 m		3 x 20 m		4 x 20 m		4 x 20 m		3 x 20 m

SC: sentadilla completa; CMJ: countermovement jump; CDD: cambios de dirección; S x R: series x repeticiones; R x T: repeticiones x tiempo; R x D: repeticiones x distancia

I. Análisis estadístico

Se utilizaron métodos estadísticos estandarizados para el cálculo de la media y la desviación típica (DT). La fiabilidad se valoró por medio del coeficiente de correlación intraclase y el coeficiente de variación. La homogeneidad de la varianza de los grupos (GC vs. GE) se verificó usando el Test de Levene, mientras que la normalidad de los datos se examinó con el Test de Shapiro-Wilk. Se utilizó un análisis de la varianza de medidas repetidas (ANOVA) 2 (grupo: GC, GE) x 2 (tiempo: Pre, Post) para cada variable (Atkinson & Nevill, 1998). El tamaño del efecto (TE) se calculó usando la g de Hedges (Hedges & Olkin, 1985) para estimar la magnitud del efecto del entrenamiento en las variables neuromusculares seleccionadas dentro de cada grupo, de la siguiente manera: $g = (\text{media GE} - \text{media GC}) / \text{DT combinada}$. Las diferencias estandarizadas o los tamaños del efecto (TE) para los cambios en las variables dependientes entre grupos (GE vs GC) se calcularon usando los valores de la DT del pretest combinada de los 2 grupos (Hopkins, Marshall, Batterham, & Hanin, 2009). Además, para las comparaciones entre grupos, se calculó la probabilidad de que los valores reales (desconocido) para cada grupo experimental fuesen *beneficioso/mejor* [i.e., mayor que el mínimo cambio apreciable ($0.2 \times \text{DT}$ entre sujetos del pretest, basado en el principio de TE de Cohen)], *no claro*, *perjudicial/peor* para el rendimiento. La probabilidad cuantitativa de que un efecto fuese *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* se calculó cualitativamente como sigue: <1 %, casi seguro que no; 1-5 %, muy poco probable; 5-25 %, poco probable; 25-75 %, posible; 75-95 %, probable; 95-99 %, muy probable; y >99 %, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* fueron ambas >10 %, la verdadera diferencia se evaluó como *no clara* ((Hopkins, et al., 2009). Los coeficientes de correlación de Pearson se calcularon para conocer las posibles relaciones entre los cambios de todas las variables medidas. La estadística inferencial basada en la interpretación de la magnitud de los efectos se calculó usando una hoja de cálculo especialmente diseñada para el análisis de ensayos controlados [Hopkins WG. Analysis of a pre-post-controlled trial (Diciembre, 2006). En Internet: <http://www.sportsci.org>]. El nivel de significación estadístico se fijó en el 5 % ($P \leq 0,05$). Todos los análisis fueron realizados utilizando el paquete de software estadístico SPSS versión 17.0 (SPSS, Chicago, IL).

4.2.3. Resultados

No hubo diferencias significativas entre grupos al inicio del estudio para ninguna de las variables analizadas. El cumplimiento con el programa de entrenamiento de fuerza fue del $93,5 \% \pm 6,3 \%$ de las sesiones programadas para el GE. Los valores medios, porcentajes de cambios del pre- al postentrenamiento y el TE para todas las variables analizadas se muestran en la **Tabla 6**.

Cambios en el salto vertical y tiempo en sprint

Se observaron interacciones "tiempo \times grupo" significativas a favor del GE para todas las variables evaluadas ($P < 0,01$ para T_{10} , $P < 0,001$ para T_{20} , y $P < 0,001$ para T_{10-20} y CMJ). El GE mostró aumentos significativos en todas las variables de rendimiento. No se encontraron cambios pre-post significativos para el GC en el tiempo en *sprint*, mientras que el CMJ mostró un descenso significativo ($-3,4 \%$, $P < 0,05$). Se encontraron mayores TE intra-grupo y entre grupos en todas las variables para el GE en comparación con el GC. Además, el GE presentó un efecto *casi seguro* mayor en CMJ, T_{10} , T_{10-20} , y T_{20} que el GC (**Figura 5**).

Cambios en las variables de fuerza

Se observaron interacciones significativas "tiempo \times grupo" a favor del GE para todas las variables evaluadas durante el test isonercial de cargas progresivas ($P < 0,001$). El GE mostró mejoras significativas ($P < 0,001$) en $1RM_{est}$ y AV, mientras que no se observaron cambios significativos pre-post para el GC en ninguna de las variables analizadas (**Tabla 6**). Las diferencias prácticas entre GE y GC mostraron que el entrenamiento de fuerza dio lugar a un efecto *casi seguro* mejor en la $1RM_{est}$, así como en la AV (con probabilidad de mayor/similar/menor puntuación que el GC de 100/0/0 % para GE en ambas variables) que el GC (**Figura 5**).

Tabla 6. Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo

	GE				GC			
	Pre	Post	Δ (90 % IC)	TE (90 % IC)	Pre	Post	Δ (90 % IC)	TE (90 % IC)
T10 (s)	1,89 \pm 0,06	1,84 \pm 0,07 **††	-2,7 (-4,4 a -0,9)	-0,78 (-1,29 a -0,27)	1,87 \pm 0,07	1,89 \pm 0,08	1,2 (0,0 a 2,4)	0,29 (0,0 a 0,59)
T10-20 (s)	1,48 \pm 0,06	1,43 \pm 0,05 ****†††	-3,5 (8,4 a 16,0)	-0,82 (-1,12 a -0,51)	1,44 \pm 0,07	1,46 \pm 0,07	0,8 (-0,5 a 2,2)	0,16 (-0,10 a 0,43)
T20 (s)	3,37 \pm 0,11	3,28 \pm 0,11 ****†††	-2,7 (-4,0 a -1,4)	-0,75 (-1,1 a -0,39)	3,32 \pm 0,13	3,36 \pm 0,14	1,0 (-0,1 a 2,2)	0,25 (-0,02 a 0,52)
CMJ (cm)	26,8 \pm 4,3	30,0 \pm 3,9 ****†††	12,2 (8,4 a 16,0)	0,71 (0,50 a 0,92)	27,9 \pm 4,8	26,9 \pm 4,7 *	-3,5 (-6,0 a -1,0)	-0,20 (-0,35 a 0,06)
AV (m·s ⁻¹)	1,04 \pm 0,12	1,32 \pm 0,12 ****†††	27,5 (8,4 a 16,0)	2,10 (1,73 a 2,46)	1,07 \pm 0,12	1,08 \pm 0,11	0,5 (-2,0 a 3,1)	0,04 (-0,16 a 0,24)
1RM_{est} (kg)	41,3 \pm 15,8	61,1 \pm 14,9 ****†††	52,0 (39,6 a 65,4)	1,30 (1,03 a 1,56)	47,7 \pm 13,6	48,2 \pm 12,8	1,6 (-2,3 a 5,7)	0,06 (-0,08 a 0,39)

Media \pm DT; TE: tamaño del efecto intra-grupo; Δ : Cambio Pre-Post; IC: intervalo de confianza. GE: grupo experimental (n = 15), GC: grupo control (n = 15). T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: countermovement jump; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test; 1RM_{est}: repetición máxima estimada; Diferencias significativas intra-grupo del pre- al post-entrenamiento: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Interacción significativa “grupo x tiempo”: †† $P < 0,01$; ††† $P < 0,001$. *Nota:* El TE negativo en las variables *sprint* representan un efecto positivo del entrenamiento, ya que las mejoras en el rendimiento en *sprint* representan una disminución del tiempo, lo cual resulta en un TE negativo.

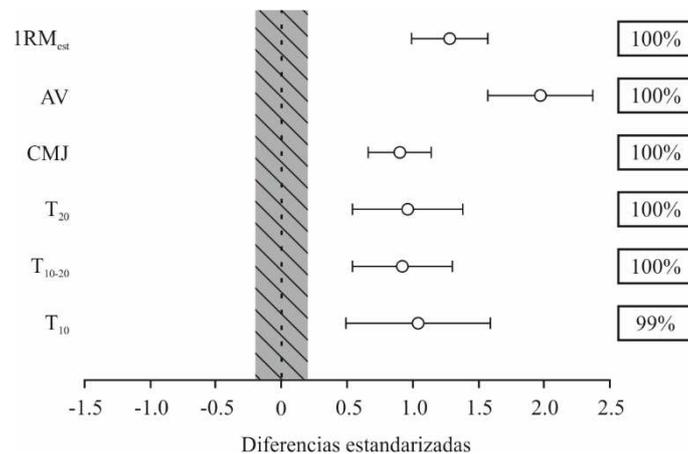


Figura 5. Diferencias en las puntuaciones (IC: 90 %) para los cambios del pre- al post-test en eT₁₀, T₁₀₋₂₀ y T₂₀, CMJ, 1RM_{est}, AV ante las cargas comunes en el pre y post-test y VMP_{20,30,40 y 50} cuando comparamos el GE y el GC. Las áreas grises representan diferencias insignificantes. Además, la probabilidad de que los efectos sean relevantes a efectos prácticos a favor del GE comparado con el GC se muestra en los recuadros.

Correlaciones entre los cambios en la fuerza, salto vertical y tiempo en sprint

Cuando se combinaron los datos de ambos grupos, se observaron correlaciones significativas negativas entre los cambios relativos individuales en CMJ, T₁₀ ($r = -0,44$; $P < 0,05$), T₁₀₋₂₀ ($r = -0,64$; $P < 0,001$) y T₂₀ ($r = -0,55$; $P < 0,01$). Además, se observaron correlaciones significativas entre los cambios relativos individuales en los parámetros de fuerza y los cambios relativos individuales en CMJ y tiempo en *sprint*, excepto entre los cambios relativos individuales en 1RM_{est} y en T₁₀ ($r = -0,35$; $P = 0,072$; **Tabla 7**).

Tabla 7. Relación entre los cambios relativos individuales de las diferentes variables de rendimiento y porcentajes de varianza explicada entre los cambios de las variables

Variables	T₁₀	T₁₀₋₂₀	T₂₀	CMJ
CMJ	-0,44 ** (19)	-0,60 *** (36)	-0,55 ** (30)	1
1RM_{est}	-0,34 (12)	-0,55 ** (30)	-0,37 * (14)	0,54 ** (29)
AV	-0,36 * (13)	-0,63 *** (40)	-0,45 ** (20)	0,60 *** (36)

T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: salto con contramovimiento; 1RM_{est}: repetición máxima estimada en sentadilla; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test en sentadilla. Relación significativa: * $P < 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$. *Nota:* Los números entre paréntesis indican el porcentaje de varianza en común o varianza explicada ($r^2 \times 100$).

4.2.4. Discusión

Según nuestro conocimiento, este es el primer estudio que analiza los efectos de añadir a la rutina de entrenamiento habitual de fútbol, un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y volumen bajo combinado con pliometría sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol que se encuentran antes del PHV. El principal hallazgo de este estudio fue que el GE mostró mejoras significativas en todas las variables analizadas, mientras que el GC permaneció sin cambios e incluso disminuyó su rendimiento de manera significativa en el CMJ. Por consiguiente, nuestros resultados corroboran nuestra hipótesis de que añadir este tipo de entrenamiento de fuerza, el cual representa un porcentaje muy bajo del tiempo total de entrenamiento de fútbol, puede ser un estímulo de entrenamiento positivo para aumentar la fuerza muscular y otros factores relevantes para el rendimiento durante un partido de fútbol en un grupo de jugadores de fútbol jóvenes.

Salto vertical y tiempo en sprint

Los *sprints*, las desaceleraciones, los cambios de dirección y los saltos son acciones que ocurren frecuentemente en el fútbol (Reilly et al., 2000; Stolen et al., 2005). Por este motivo, debería ser de interés para los entrenadores y los profesionales del acondicionamiento físico conocer los efectos del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico más que sobre el desarrollo muscular. En el presente estudio, el entrenamiento de fuerza provocó mejoras moderadas y significativas en el CMJ (Δ : 12,2 %, TE: 0,71) y el tiempo en *sprint* (Δ : 2,7–3,5 %, TE: 0,75–0,82) después del periodo de intervención, mientras que el GC mostró una tendencia a la estabilización del rendimiento e incluso una pérdida significativa en la altura de salto (Δ : -3,5 %, $P < 0,05$; TE: -0,20). En estudios anteriores se ha mostrado la eficacia de un entrenamiento de fuerza combinado con pliometría para mejorar el rendimiento en el salto vertical en niños entrenados (Faigenbaum et al., 2007b) y no entrenados (Meylan et al., 2014), aunque estas mejoras fueron menores (6,5–8,1 %) que las obtenidas en nuestro estudio. Sin embargo, otros estudios (Gabbett, Johns, & Riemann, 2008; Ingle et al., 2006) con métodos de entrenamiento similares no encontraron cambios significativos en esta variable. Estos estudios (Gabbett et al., 2008; Ingle et al., 2006) emplearon un mayor número de ejercicios de levantamiento de peso (7 u 8), cargas más pesadas (60–80 %

1RM), mayor número de repeticiones por serie (8-15), periodos de descanso entre series más cortos (~1 min) y mayor volumen de entrenamiento pliométrico que el realizado en el presente estudio. En este sentido, recientes evidencias parecen indicar que un programa de entrenamiento de estas características puede no ser aconsejable para jugadores de fútbol por varias razones: (1) normalmente requiere sesiones largas de entrenamiento (60–90 min), (2) parece que causa un alto grado de fatiga neuromuscular (Sanchez-Medina & Gonzalez-Badillo, 2011), y, consecuentemente, (3) puede interferir en la práctica efectiva con balón y otras habilidades de rendimiento en fútbol durante el entrenamiento posterior de fútbol en campo (durante al menos 24h) (Draganidis et al., 2013).

Con respecto al tiempo en *sprint*, los participantes del GE del presente estudio obtuvieron mayores efectos después del periodo de entrenamiento que los obtenidos en un meta-análisis previo que valoraba los efectos del entrenamiento combinado sobre el rendimiento en *sprint* (Δ : $-2,67 \% \pm 0,67 \%$, TE: $0,52 \pm 0,13$) en sujetos preadolescentes (Rumpf et al., 2012). Hay que tener en cuenta que los estudios previos con niños que mostraron mejoras significativas en el tiempo sobre distancias cortas (Δ : $-2,1 \%$ a $-3,1 \%$) fueron llevados a cabo con sujetos preadolescentes desentrenados (Ingle et al., 2006; Meylan et al., 2014), mientras que en los estudios llevados a cabo con sujetos entrenados que se encuentran antes y durante el PHV (Faigenbaum et al., 2007b; Gabbett et al., 2008) mostraron un efecto beneficioso pequeño o prácticamente nulo (Δ : $-0,3 \%$ a $-0,9 \%$) en la capacidad de *sprint*. Por tanto, los resultados de estos estudios sugieren que la magnitud del cambio en *sprint* puede depender, además de del tipo de entrenamiento realizado, de la experiencia previa en el entrenamiento de los sujetos. Sin embargo, esto contrasta con nuestros resultados, ya que los sujetos del presente estudio tenían una experiencia en el entrenamiento de más de 3 años, lo cual podría indicar que además del momento de madurez en el que se encuentren los sujetos, el tipo de entrenamiento puede jugar un papel importante en el efecto producido sobre el rendimiento físico.

Por tanto, tomados de manera conjunta, los efectos beneficiosos mostrados por el GE en el rendimiento en salto y *sprint* sugieren que el programa de entrenamiento aplicado en el presente estudio puede ser más efectivo que los utilizados en estudios anteriores (Christou et al., 2006; Faigenbaum et al., 2007b; Ingle et al., 2006), los cuales utilizaban cargas pesadas y alto volumen. Esto puede estar relacionado con el principio de especificidad. En primer lugar, las cargas más ligeras son ejecutadas a mayor velocidad

que las cargas más pesadas. Además, ante un menor o igual número de repeticiones, las cargas más ligeras presentan una velocidad media mayor dentro de cada serie que las cargas más pesadas. Por tanto, es razonable asumir que un entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen permite entrenar a mayor velocidad que el entrenamiento de fuerza con cargas altas y volumen alto, lo cual podría producir una mayor transferencia de las ganancias de fuerza sobre el salto y el *sprint*, aunque estos ejercicios también se practicaron durante el periodo de entrenamiento en el presente estudio.

Aunque los mecanismos neurofisiológicos mediante los cuales una mayor velocidad de entrenamiento influye en las mejoras de fuerza, salto y velocidad no se han investigado en este estudio, entrenar a la máxima velocidad posible en cada repetición podría resultar en un reclutamiento mayor y/o más efectivo de las fibras rápidas (Van Cutsem, Duchateau, & Hainaut, 1998), cambios en la composición de la isoforma de la cadena pesada de miosina (Aagaard, Simonsen, Andersen, Magnusson, & Dyhre-Poulsen, 2002), y aumentos en la rigidez de la aponeurosis del tendón (Bojsen-Moller, Magnusson, Rasmussen, Kjaer, & Aagaard, 2005). Todos estos factores parecen causar mejoras importantes en la RFD (Aagaard et al., 2002; Rodriguez-Rosell et al., 2018) y, consecuentemente, sobre diferentes tipos de acciones rápidas tales como los *sprints* y saltos. También es posible que una mejor sincronización de los segmentos corporales o un aumento de la coordinación específica hayan influido en las mejoras de estas cualidades.

Por otro lado, el GE mostró mayores ganancias en el salto y el tiempo en *sprint* comparado con estudios anteriores (CMJ, Δ : 5,1–3,4 %; tiempo en *sprint*, Δ : –0,82 % a –1,0 %) (Gorostiaga et al., 2004; Los Arcos et al., 2014) usando un método de entrenamiento similar. Sin embargo, esos estudios (Gorostiaga et al., 2004; Los Arcos et al., 2014) se llevaron a cabo con jugadores de fútbol con edades de 18 a 20 años. Por consiguiente, las mayores ganancias conseguidas en nuestro estudio podrían estar relacionadas con el nivel de madurez y el nivel inicial de fuerza de los participantes (Ford et al., 2011). De hecho, se ha sugerido que la fase sensible de adaptación al entrenamiento para el *sprint* aparece a la edad de 12 a 15 años (Philippaerts et al., 2006), lo cual ocurre aproximadamente sobre el inicio de la pubertad. Por tanto, nuestros resultados parecen indicar que un estímulo de entrenamiento similar podría resultar en mayores efectos beneficiosos sobre el *sprint* y el salto vertical en jugadores jóvenes ya que ellos pueden estar en una condición fisiológica más favorable para el desarrollo de la fuerza que jugadores de mayor edad.

Rendimiento en fuerza

Después de las 6 semanas de intervención, el GE mostró mayores porcentajes de cambios y TEs intra-grupo más altos en las variables $1RM_{est}$ y AV que el GC (**Tabla 6**). Las grandes mejoras presentadas por el GE en las variables de fuerza (27–56 %, TE: 1,18–2,10) fueron comparables o incluso superiores a las encontradas en estudios anteriores con sujetos de edades similares (Christou et al., 2006; Faigenbaum et al., 2002; Ingle et al., 2006; Meylan et al., 2014), a pesar de que el periodo de entrenamiento fue más corto (6 vs 8–16 semanas) y el nivel de entrenamiento de los sujetos fue mayor (entrenados vs desentrenados) en nuestro estudio que en los estudios arriba mencionados. Además, nuestros resultados son especialmente relevantes porque se obtuvieron con un programa de entrenamiento de fuerza utilizando menores intensidades relativas, repeticiones, y número de ejercicios que los estudios anteriores llevados a cabo con niños (Christou et al., 2006; Ingle et al., 2006; Meylan et al., 2014).

El hecho de que se haya propuesto que generar alta tensión en la fibra muscular estimula un aumento en la fuerza muscular (Moritani & deVries, 1979; Moss et al., 1997), podría ser la razón por la que se han utilizado normalmente cargas pesadas para mejorar la capacidad de generar fuerza del músculo. Sin embargo, se ha propuesto que es posible obtener alta tensión y una activación de las unidades motoras de alto umbral de reclutamiento incluso entrenando con cargas bajas, siempre que la aceleración de la carga sea lo suficientemente alta (Moss et al., 1997). En el presente estudio se prestó especial atención a que todos los participantes realizaran todos los ejercicios a la máxima velocidad posible. Por tanto, aunque en un meta-análisis previo (Behringer et al., 2010) se concluyó que las cargas por debajo del 60 al 80 % de la 1RM tienen menos probabilidad de inducir ganancias de fuerza, nuestros resultados sugieren que el entrenamiento de fuerza con cargas bajas poniendo énfasis en desplazar la carga a la máxima velocidad posible puede ser efectivo para conseguir importantes mejoras en el rendimiento de la fuerza en jugadores de fútbol preadolescentes sin experiencia previa en el entrenamiento de la fuerza.

Correlaciones entre la fuerza, el salto vertical y el tiempo en sprint

Cuando se combinaron los datos de ambos grupos, se observaron correlaciones significativas negativas entre los cambios relativos individuales en la altura del CMJ y los cambios relativos individuales en T₁₀, T₁₀₋₂₀ y T₂₀. Se han encontrado resultados similares en estudios anteriores (Gorostiaga et al., 2004). Estas relaciones sugieren que los *sprint* de distancias cortas son fuertemente dependientes de la capacidad del sujeto de generar rápidas y fuertes extensiones de los músculos extensores de rodilla, cadera y flexores plantares (Gorostiaga et al., 2004). Por otro lado, también se observaron correlaciones significativas entre los cambios relativos individuales en las variables de fuerza y los cambios relativos individuales en CMJ y tiempo en *sprint*. Estos resultados indican que las mejoras obtenidas en la capacidad de salto y *sprint* fueron parcialmente debidas al aumento de la fuerza de las piernas, de lo cual se deduce que el efecto del entrenamiento de fuerza no solo se manifiesta en el propio ejercicio con el que se entrena, sino en otros indicadores del rendimiento físico como la capacidad de salto y aceleración en jugadores de fútbol adolescentes y preadolescentes.

4.2.5. Conclusiones

La principal conclusión del Estudio II fue la siguiente:

Seis semanas de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y bajo volumen combinado con pliometría, además del habitual entrenamiento de fútbol, produjo ganancias significativas y prácticas sobre el rendimiento en fuerza, altura de salto y *sprint* comparado con realizar solo el entrenamiento habitual de fútbol.

4.2.6. Aplicaciones prácticas

Según nuestros resultados, en jugadores de fútbol preadolescentes, sería recomendable añadir un entrenamiento de fuerza de las características del aplicado en nuestro estudio al entrenamiento específico de fútbol, con el fin de alcanzar un mayor nivel de rendimiento físico que el que proporciona el entrenamiento exclusivo de fútbol. Además, la inclusión

de este tipo de entrenamiento tiene la ventaja de que cada sesión puede realizarse en un tiempo bastante reducido, por lo que es adecuado para incorporarlo cuando tiene que realizarse junto con el entrenamiento específico en una sola sesión.

4.2.7. Limitaciones

Al igual que el *Estudio I*, la principal limitación de este estudio fue la imposibilidad de realizar controles intermedios para ajustar la carga de entrenamiento o entrenar con un medidor de la velocidad obteniendo información inmediata del estado actual de los sujetos para así garantizar la correcta aplicación del programa de entrenamiento planificado.

4.3. Estudio III: Efectos de un mismo programa de entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol de distintas edades

4.3.1. Introducción

El fútbol es un deporte de equipo que combina repetidas acciones intermitentes de alta intensidad separadas por cortos periodos de recuperación (Mohr et al., 2003; Stolen et al., 2005). Durante un partido, los jugadores cambian de acción cada 4-6 segundos de media, pudiendo realizar aproximadamente 1.300 acciones, siendo 200 de estas ejecutadas a alta intensidad (Mohr et al., 2003; Stolen et al., 2005). Este tipo de actividades relacionadas con las demandas del juego, tales como cambios de dirección, *sprint*, regatear, chocar, golpear el balón y rematar de cabeza, requieren una alta producción de fuerza por unidad de tiempo por parte de los músculos de las piernas (Meylan & Malatesta, 2009). De este modo, un jugador de fútbol debe no solo resolver acciones técnico-tácticas, sino también poseer una condición física bien desarrollada en términos de fuerza, que se traduzca en una mayor velocidad de ejecución de distintas acciones específicas que le permitan alcanzar un alto rendimiento durante un partido (Hoff & Helgerud, 2004; Stolen et al., 2005). Por lo tanto, el uso apropiado de programas de entrenamiento de fuerza podría mejorar determinadas acciones explosivas relevantes para el resultado del partido.

Existen innumerables métodos de entrenamiento de fuerza que han mostrado su efectividad para provocar efectos positivos en el rendimiento neuromuscular en jugadores de fútbol jóvenes y adultos, incluyendo levantamiento de pesas (Bogdanis et al., 2011; Chelly et al., 2009), entrenamiento pliométrico (Chelly et al., 2010; Meylan & Malatesta, 2009), y la combinación de ambos (Rønnestad et al., 2008). Tradicionalmente, los estudios de entrenamiento de fuerza con jugadores de fútbol han empleado cargas altas (~70-90 % de la 1RM) y repeticiones al fallo muscular o próximas a este (Bogdanis et al., 2011; Chelly et al., 2009; Kotzamanidis et al., 2005; Rønnestad et al., 2008). Sin embargo, estudios recientes (Franco-Marquez et al., 2015; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Perez-Gomez et al., 2008; Rodriguez-Rosell et al., 2016) han utilizado entrenamientos de fuerza con cargas ligeras, pocas repeticiones por serie, y desplazando la carga a la máxima velocidad voluntaria posible, bien solo o combinado con ejercicios pliométricos. Los resultados de estos estudios indicaron que programas de entrenamiento con estas características son iguales o más efectivos que aquellos que utilizaron cargas altas para

inducir ganancias en fuerza, salto y rendimiento en *sprint* en jugadores de fútbol de edades diferentes. Sin embargo, la influencia de la edad de los jugadores de fútbol sobre los cambios en fuerza y en el rendimiento de acciones relacionadas con el deporte después de un programa de entrenamiento con una misma intensidad relativa y un mismo volumen está menos claro.

Durante el crecimiento y la maduración ocurren grandes cambios morfológicos y neurales (Beunen & Malina, 1988; Malina et al., 2004). Estos factores podrían jugar un papel importante en la capacidad de adaptarse a un estímulo de entrenamiento específico. Por lo tanto, debido a las diferencias fisiológicas asociadas con el nivel de maduración (p. ej. el aumento hormonal, la mielinización del sistema nervioso central) y la edad de entrenamiento, es posible que los sujetos más jóvenes y mayores se adapten de manera diferente a un determinado estímulo de entrenamiento (Gabbett et al., 2008; Meylan et al., 2014). En este contexto, pocos estudios (Faigenbaum et al., 2007a; Gabbett et al., 2008; Lillegard et al., 1997; Lloyd, Radnor, De Ste Croix, Cronin, & Oliver, 2016b; Meylan et al., 2014; Ramirez-Campillo et al., 2014) han investigado los cambios en distintas variables de rendimiento físico en grupos de edades o madurez diferentes después de realizar el mismo programa de entrenamiento. Estos estudios realizaron entrenamiento de fuerza con cargas altas (>70 % de la 1RM) y mostraron resultados contradictorios, obteniendo desde diferencias significativas asociadas con la edad cronológica o nivel de maduración hasta mayores efectos positivos para sujetos prepuberales, puberales y postpuberales dependiendo de la variable analizada. Para nuestro conocimiento, ningún estudio ha analizado las adaptaciones que un programa de entrenamiento de fuerza de corta duración provoca sobre la fuerza, el salto y el *sprint* en jugadores de fútbol de diferentes edades cronológicas. Por lo tanto, dadas las limitaciones anteriormente citadas, el objetivo de este estudio fue comparar los efectos de un programa de entrenamiento de fuerza con cargas bajas y un bajo volumen de repeticiones por serie, combinado con ejercicios pliométricos sobre la fuerza de las piernas, capacidad de salto y rendimiento en *sprint* en jugadores de fútbol sub-13, sub-15 y sub-17. Para ello nos planteamos la siguiente hipótesis: la realización de un entrenamiento de fuerza con cargas bajas, comprendidas entre 45-60% de 1 RM, y bajo volumen, ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible, combinado con saltos y *sprints*, mejora la fuerza muscular, el salto y el *sprint* en mayor medida que la realización exclusiva del entrenamiento técnico-táctico, en los grupos de edad comprendidos entre 12-13, 14-15 y 16-18 años.

Además, la aplicación de un mismo programa de entrenamiento de fuerza sobre jugadores con diferentes edades cronológicas (sub-13, sub-15 y sub-17) provoca mayores cambios en la fuerza de las piernas, capacidad de salto y *sprint* en los jugadores de menor edad.

4.3.2. Metodología

A. Tipo de investigación

El **Estudio III** tiene unas características similares al **Estudio I**, por tanto, se trata de una investigación *cuantitativa*, y fundamentalmente *experimental*, considerando la variable *Entrenamiento* como independiente. La investigación es *inferencial* y de carácter fundamentalmente *longitudinal*.

B. Muestra

En este estudio participaron 90 jugadores de fútbol de edades comprendidas entre los 12 y 17 años, pertenecientes a un mismo club y que competían en sus respectivas categorías de edad (sub-13 = 30, sub-15 = 30, y sub-17 = 30). Después de la evaluación inicial, los 30 jugadores de cada grupo fueron ordenados conforme a su rendimiento en el salto vertical y posteriormente distribuidos aleatoriamente en dos subgrupos: aquellos que participaron en un entrenamiento de fuerza además de su habitual entrenamiento de fútbol (GE) y aquellos que sólo realizaron el entrenamiento de fútbol (GC). Sólo se incluyeron en el análisis estadístico aquellos jugadores que participaron en al menos el 90 % de todas las sesiones de entrenamiento. Debido a lesión o enfermedad, 4 jugadores (2 de sub-15 y 2 de sub-17) se perdieron demasiadas sesiones de entrenamiento o se ausentaron en el post-test. De este modo, 30 jugadores sub-13, y 28 de sub-15 y sub-17 fueron incluidos en el análisis estadístico. Las características de los jugadores se presentan en la **Tabla 8**. Todos los participantes tenían una experiencia en el entrenamiento de fútbol de más de 2 (sub-13), 4 (sub-15), y 6 (sub-17) años y no estuvieron ausentes por lesión durante al menos 6 meses antes de participar en el estudio. Ningún grupo tenía experiencia previa en el entrenamiento de fuerza. Los requisitos necesarios para participar en este estudio han sido descritos previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.B).

Tabla 8. Características físicas de los participantes (media \pm DS).

Categoría	Grupo	N	Edad (años)	Masa (kg)	Altura (m)	MO	PAS (%)
Sub-13	GE	15	12,6 \pm 0,5	46,3 \pm 7,8	1,58 \pm 0,08	-0,80 \pm 0,58	86,5 \pm 2,3
	GC	15	12,6 \pm 0,5	48,1 \pm 5,8	1,60 \pm 0,06	-0,78 \pm 0,34	87,8 \pm 1,7
Sub-15	GE	14	14,6 \pm 0,5	59,6 \pm 5,7	1,70 \pm 0,05	0,96 \pm 0,45	95,1 \pm 1,8
	GC	14	14,6 \pm 0,5	63,2 \pm 7,3	1,70 \pm 0,06	1,01 \pm 0,5	95,3 \pm 2,0
Sub-17	GE	14	16,4 \pm 0,5	69,1 \pm 4,0	1,72 \pm 0,04	2,18 \pm 0,22	98,6 \pm 0,4
	GC	14	16,5 \pm 0,5	69,4 \pm 3,5	1,71 \pm 0,04	2,17 \pm 0,28	98,6 \pm 0,5

Sub-13: menores de 13 años; Sub-15: menores de 15 años; Sub-17: menores de 17 años; GE: grupo entrenamiento de fuerza; GC: grupo control; MO: años hasta el pico de velocidad de crecimiento; PAS: predicción de estatura adulta.

Una vez seleccionados los sujetos que cumplan con los requisitos, se les informó del propósito de la investigación y los procedimientos experimentales, para que dieran su consentimiento por escrito, firmando el documento de Consentimiento Informado que se adjunta en el **ANEXO 1**, antes de tomar parte en el estudio. Para los jugadores menores de 18 años, se informó de los objetivos y procedimientos de la investigación a los padres o tutores para que ellos, como responsables legales, dieran su consentimiento por escrito.

C. Diseño del estudio

El presente estudio se realizó para comparar el efecto producido por un mismo programa de entrenamiento de fuerza de 6 semanas con cargas bajas y bajo volumen combinado con ejercicios pliométricos sobre los cambios en el rendimiento físico en jugadores de fútbol de distintas edades (sub-13, sub-15 y sub-17). Para abordar este objetivo, 86 jugadores de fútbol jóvenes de 3 categorías diferentes fueron asignados aleatoriamente a un grupo de entrenamiento de fuerza (GE) o a un grupo control (GC), quedando de la siguiente manera: sub-13 (GE₁₃; $n = 15$; GC₁₃; $n = 15$), sub-15 (GE₁₅; $n = 14$; GC₁₅; $n = 14$), y sub-17 (GE₁₇; $n = 14$; GC₁₇; $n = 14$). Los jugadores asignados al GE realizaron 2 sesiones de entrenamiento de fuerza combinado con pliometría, mientras que el GC sólo realizó el entrenamiento habitual de fútbol. Todos los jugadores, independientemente del grupo, realizaban 4 sesiones de entrenamiento a la semana y jugaban un partido amistoso de 90 minutos. Cada sesión de entrenamiento tuvo una duración de 2 horas aproximadamente y englobó varias actividades a diferentes intensidades, juegos

reducidos, y finalmente 20 min de juego o entrenamiento de alta intensidad. En las dos semanas anteriores a la realización de los test se llevaron a cabo 4 sesiones de familiarización (2 sesiones por semana) que consistieron en la realización de varias series de entrenamiento de los ejercicios de CMJ y sentadilla completa ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible y realizando una técnica correcta.

Antes de realizar las evaluaciones físicas se tomaron las medidas antropométricas. Se determinó el estado madurativo de los participantes usando los años desde/hasta el PHV [p. ej., compensación madurez = $-7,999994 + (0,0036124 \times \text{edad} \times \text{altura})$ (Moore et al., 2015)] así como la predicción de estatura adulta (Sherar et al., 2005). Para evaluar el rendimiento neuromuscular pre- y postentrenamiento se usó una batería de test llevada a cabo en una sola sesión y con una secuencia fija como se describe más abajo. Para que no hubiera interferencia en los test, no hubo sesiones de entrenamiento fatigantes al menos 2 días antes de la evaluación. Las sesiones de evaluación se llevaron a cabo en el mismo lugar y momento del día (± 1 h) y bajo condiciones ambientales semejantes (21° C y 60 % humedad) para cada uno de los participantes. Se animó a todos los sujetos durante todos los test para motivarlos a dar el máximo en cada prueba.

D. Variables Objeto de Estudio

Las principales variables analizadas en el **Estudio III** fueron:

- *Tiempo en 10 y 20 metros (T_{10} , T_{20} y T_{10-20}), en segundos.*
- *Altura en el salto vertical (CMJ), en cm.*
- *1RM estimada ($1RM_{est}$), en kg.*
- *VMP con las cargas comunes (AV), en $m \cdot s^{-1}$.*

Estas variables ya han sido descritas previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.D).

E. Control de Variables Extrañas

Este apartado ya ha sido descrito previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.E).

F. Evaluaciones y Pruebas Físicas

Análisis antropométrico

- *Masa corporal* (kg).
- *Talla* (m).

Estas evaluaciones se han descrito previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.F).

Pruebas físicas

- *Test de velocidad en 20 m.*
- *Test de salto con contramovimiento (CMJ).*
- *Test isoinercial de cargas progresivas en el ejercicio de sentadilla completa.*

La realización de estas pruebas ya ha sido descrita previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.F).

Protocolo de entrenamiento

Las características del entrenamiento ya han sido descritas previamente en la metodología del **Estudio II** (Apartado 4.2.1.F; **Tabla 5**).

G. Instrumental de Evaluación

Máquina tipo Smith

Transductor lineal de velocidad

Plataforma de Salto

Células fotoeléctricas

Las características de estos instrumentos ya han sido descritas previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.G).

H. Plan de trabajo

El plan de trabajo ya ha sido descrito previamente en la metodología del **Estudio I** (Apartado 4.1.1.H).

I. Análisis estadístico

Se utilizaron métodos estadísticos estandarizados para el cálculo de la media y la desviación típica (DT). La fiabilidad se valoró por medio del coeficiente de correlación intraclase y el coeficiente de variación. La homogeneidad de la varianza de los grupos (GC vs. GE) en todas las categorías y entre los grupos experimentales (GE₁₃ vs. GE₁₅ vs. GE₁₇) se verificó usando el Test de Levene, mientras que la normalidad de los datos se examinó con el Test de Kolmogórov-Smirnov. Se utilizó un análisis de la varianza de medidas repetidas (ANOVA) 2 (grupo: GC, GE) x 2 (tiempo: Pre, Post) para cada parámetro para analizar las diferencias intra- y entre grupos dentro de cada grupo de edad (sub-13, sub-15 y sub-17). Se llevó a cabo un ANOVA de un factor para examinar las diferencias entre el porcentaje de cambio de cada una de las variables en 3 los grupos experimentales con las comparaciones del Test Gabriel *post hoc* (GE₁₃ vs. GE₁₅ vs. GE₁₇). Además de los test de hipótesis nula, se valoró el cambio en cada una de las variables usando una aproximación basada en la magnitud del cambio (Hopkins et al., 2009). El TE se calculó usando la *g* de Hedges (Hedges & Olkin, 1985) para estimar la magnitud del efecto del entrenamiento en las variables neuromusculares seleccionadas dentro de

cada grupo, de la siguiente manera: $g = (\text{media GE} - \text{media GC}) / \text{DT}$ combinada. La diferencia estandarizada para los cambios entre los GEs (GE₁₃ vs. GE₁₅ vs. GE₁₇) en cada variable dependiente se calculó en valores transformados logarítmicamente utilizando la DT pretest combinado. Para las comparaciones entre grupos, se calculó la probabilidad de que los valores reales (desconocido) para cada grupo experimental fuesen *beneficioso/mejor* [i.e., mayor que el mínimo cambio apreciable (0.2 x DT entre sujetos del pretest, basado en el principio de TE de Cohen)], *no claro*, *perjudicial/peor* para el rendimiento (Hopkins et al., 2009). La probabilidad cuantitativa de que un efecto sea *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* se calculó cualitativamente como sigue: <1 %, casi seguro que no; 1-5 %, muy poco probable; 5-25 %, poco probable; 25-75 %, posible; 75-95 %, probable; 95-99 %, muy probable; y >99 %, casi seguro. Si las probabilidades de tener un efecto *beneficioso/mejor* o *perjudicial/peor* fueran ambas >10 %, la verdadera diferencia se evaluó como *no clara* ((Hopkins et al., 2009). La estadística inferencial basada en la interpretación de la magnitud de los efectos se calculará usando una hoja de cálculo especialmente diseñada para el análisis de ensayos controlados [Hopkins WG. Analysis of a pre-post-controlled trial (Diciembre, 2006). En Internet: <http://www.sportsci.org>]. El nivel de significación estadístico se fijó en el 5 % ($P \leq 0.05$). Todos los análisis fueron realizados utilizando el paquete de software estadístico SPSS versión 17.0 (SPSS, Chicago, IL).

4.3.3. Resultados

Los datos para todas las variables analizadas fueron homogéneos y siguieron una distribución normal ($P > 0.05$). No hubo diferencias significativas entre grupos (GE vs. GC) en el pretest en ninguno de los grupos de edad (sub-13, sub-15 y sub-17). El cumplimiento del programa de entrenamiento de fuerza fue del 95,7 %, 93,3 % y 92,8 %, para los grupos sub-13, sub-15 y sub-17, respectivamente. Los valores medios y el TE intra-grupo de cada grupo para todas las variables analizadas se muestran en la **Tabla 9** (sub-13), **Tabla 10** (sub-15) y **Tabla 11** (sub-17). Las comparaciones de los cambios entre los GE (GE₁₃ vs. GE₁₅ vs. GE₁₇) se presentan en la **Tabla 12**.

Cambios en el salto vertical y el tiempo en sprint

Se observaron interacciones significativas "tiempo \times grupo" ($P < 0,05$) a favor de los GE para los diferentes grupos de edad para las variables T_{10} , T_{10-20} , T_{20} y CMJ, excepto en el T_{10} para sub-15 y T_{10-20} para sub-17. El periodo de entrenamiento provocó mejoras significativas ($P < 0,05$) en las variables T_{10} , T_{10-20} , T_{20} y CMJ para los GE, excepto para GE_{17} en T_{10-20} ($P = 0,37$). El análisis del TE intra-grupo y el porcentaje de cambio mostraron mejoras importantes a favor de los GEs comparados con los GCs en todas las variables para todos los grupos de edad.

Las comparaciones entre los GEs mostraron significativamente ($P < 0,001$) mayores mejoras para GE_{13} comparado con GE_{17} en la variable T_{10-20} , y un efecto *posiblemente* más favorable en el resto de variables (**Tabla 12 y Figuras 6, 7 y 8**). El GE_{13} mostró mejoras significativamente mayores en T_{10-20} ($P < 0,05$) y un efecto *posiblemente* mejor en T_{20} comparado con GE_{15} . Además, GE_{15} presentó un efecto *probablemente* y *posiblemente* más favorable que GE_{17} en T_{20} y CMJ, respectivamente.

Cambios en las variables de fuerza

Se observaron interacciones significativas "tiempo \times grupo" ($P < 0,05$) a favor de los GE para los diferentes grupos de edad para todas las variables, excepto para AV en el grupo U17. Se dieron mejoras significativas ($P < 0,05$) dentro de los GEs. En cambio, en los GCs, sólo GC_{17} mostró un aumento significativo en AV ($P < 0,01$) y $1RM_{est}$ ($P < 0,05$). El análisis del TE intra-grupo y el porcentaje de cambio mostraron magnitudes de cambio importantes en favor de los GEs comparados con los GCs en ambas variables de fuerza para todos los grupos de edad.

Respecto a las comparaciones entre los GEs, el grupo GE_{13} mostró significativamente ($P < 0,001$) mayores mejoras en las variables AV y $1RM_{est}$ comparado con GE_{17} (**Tabla 12 y Figuras 6, 7 y 8**). El GE_{13} mostró mejoras significativamente mayores en $1RM_{est}$ ($P < 0,001$) y un efecto *probablemente* mejor en AV comparado con GE_{15} . Además, GE_{15} presentó mejoras significativamente ($P \leq 0,05$) mayores que GE_{17} en ambas variables de fuerza ($P < 0,001$ y $P < 0,05$ para $1RM_{est}$ y AV, respectivamente).

Tabla 9. Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo sub-13 (GE vs GC)

Variable	GE ₁₃ (n = 15)			GC ₁₃ (n = 15)		
	Pre	Post	TE (IC: 90 %)	Pre	Post	TE (IC: 90 %)
T₁₀	1,90 ± 0,06	1,84 ± 0,07 **††	0,92 (0,35 a 1,49)	1,86 ± 0,06	1,89 ± 0,08	-0,42 (-0,74 a -0,11)
T₁₀₋₂₀	1,48 ± 0,06	1,43 ± 0,05 ***†††	0,91 (0,46 a 1,35)	1,44 ± 0,07	1,46 ± 0,08	-0,27 (-0,52 a -0,01)
T₂₀	3,38 ± 0,12	3,29 ± 0,12 ***†††	0,75 (0,31 a 1,19)	3,31 ± 0,13	3,36 ± 0,14	-0,37 (-0,64 a -0,09)
CMJ	26,6 ± 4,3	29,8 ± 3,9 ***†††	0,78 (0,45 a 1,11)	28,2 ± 4,8	27,2 ± 4,7 *	-0,21 (-0,35 a -0,07)
AV	1,04 ± 0,12	1,32 ± 0,13 ***†††	2,24 (1,42 a 3,06)	1,08 ± 0,13	1,09 ± 0,11	0,08 (-0,14 a 0,31)
1RM_{est}	38,6 ± 17,9	57,2 ± 15,9 ***†††	1,10 (0,67 a 1,52)	47,8 ± 14,1	48,5 ± 13,1	0,05 (-0,08 a 0,18)

Media ± DT; TE: tamaño del efecto intra-grupo; IC: intervalo de confianza. GE: grupo experimental (n = 15), GC: grupo control (n = 15). T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: countermovement jump; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test; 1RM_{est}: repetición máxima estimada; Diferencias significativas intra-grupo del pre- al post-entrenamiento: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Interacción significativa “grupo x tiempo”: †† $P < 0,01$; ††† $P < 0,001$. *Nota:* El TE negativo en las variables *sprint* representan un efecto positivo del entrenamiento, ya que las mejoras en el rendimiento en *sprint* representan una disminución del tiempo, lo cual resulta en un TE negativo.

Tabla 10. Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo sub-15 (GE vs GC)

Variable	GE ₁₅ (n = 14)			GC ₁₅ (n = 14)		
	Pre	Post	TE (IC: 90 %)	Pre	Post	TE (IC: 90 %)
T₁₀	1,78 ± 0,06	1,75 ± 0,06 *	0,50 (0,10 a 0,90)	1,80 ± 0,08	1,80 ± 0,06	0,00 (-0,35 a 0,35)
T_{10_20}	1,34 ± 0,07	1,32 ± 0,07 *†	0,29 (0,11 a 0,46)	1,33 ± 0,06	1,34 ± 0,05	-0,18 (-0,42 a 0,06)
T₂₀	3,13 ± 0,11	3,09 ± 0,11 **†	0,36 (0,15 a 0,57)	3,14 ± 0,12	3,15 ± 0,10	-0,09 (-0,33 a 0,15)
CMJ	32,4 ± 5,2	35,7 ± 6,1 ***†††	0,58 (0,34 a 0,82)	33,0 ± 4,0	33,0 ± 3,9	0,00 (-0,12 a 0,12)
AV	1,04 ± 0,11	1,24 ± 0,12 ***†††	1,74 (1,09 a 2,38)	1,12 ± 0,07	1,14 ± 0,08	0,27 (-0,01 a 0,54)
1RM_{est}	64,0 ± 14,5	81,7 ± 16,6 ***†††	1,14 (0,71 a 1,56)	73,9 ± 13,8	76,0 ± 14,2	0,15 (-0,10 a 0,40)

Media ± DT; TE: tamaño del efecto intra-grupo; IC: intervalo de confianza. GE: grupo experimental (n = 14), GC: grupo control (n = 14). T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: countermovement jump; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test; 1RM_{est}: repetición máxima estimada; Diferencias significativas intra-grupo del pre- al post-entrenamiento: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Interacción significativa “grupo x tiempo”: †† $P < 0,01$; ††† $P < 0,001$. Nota: El TE negativo en las variables *sprint* representan un efecto positivo del entrenamiento, ya que las mejoras en el rendimiento en *sprint* representan una disminución del tiempo, lo cual resulta en un TE negativo.

Tabla 11. Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo sub-17 (GE vs GC)

Variable	GE ₁₇ (n = 14)			GC ₁₇ (n = 14)		
	Pre	Post	TE (IC: 90 %)	Pre	Post	TE (IC: 90 %)
T ₁₀	1,72 ± 0,06	1,68 ± 0,06 *†	0,67 (0,32 a 1,01)	1,71 ± 0,06	1,71 ± 0,05	0,00 (-0,41 a 0,41)
T ₁₀₋₂₀	1,26 ± 0,05	1,26 ± 0,04	0,00 (-0,22 a 0,22)	1,25 ± 0,04	1,25 ± 0,05	0,00 (-0,14 a 0,14)
T ₂₀	2,99 ± 0,11	2,95 ± 0,09 *†	0,40 (0,17 a 0,63)	2,96 ± 0,09	2,98 ± 0,09	-0,22 (-0,53 a 0,08)
CMJ	37,8 ± 5,1	40,0 ± 5,6 ***†	0,41 (0,14 a 0,68)	37,2 ± 4,1	37,9 ± 4,03	0,17 (0,08 a 0,26)
AV	1,18 ± 0,07	1,27 ± 0,10 ***	1,04 (0,61 a 1,48)	1,15 ± 0,11	1,22 ± 0,10 **	0,67 (0,29 a 1,04)
1RM _{est}	91,2 ± 12,9	103,5 ± 17,3 ***†	0,81 (0,49 a 1,12)	84,0 ± 20,6	88,5 ± 18,5 *	0,23 (0,03 a 0,43)

Media ± DT; TE: tamaño del efecto intra-grupo; IC: intervalo de confianza. GE: grupo experimental (n = 14), GC: grupo control (n = 14). T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: countermovement jump; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test; 1RM_{est}: repetición máxima estimada; Diferencias significativas intra-grupo del pre- al post-entrenamiento: * $P < 0,05$; ** $P < 0,01$; *** $P < 0,001$. Interacción significativa “grupo x tiempo”: †† $P < 0,01$; ††† $P < 0,001$. Nota: El TE negativo en las variables *sprint* representan un efecto positivo del entrenamiento, ya que las mejoras en el rendimiento en *sprint* representan una disminución del tiempo, lo cual resulta en un TE negativo.

Tabla 12. Cambios en las variables de rendimiento seleccionadas del pre- al post-test entre los grupos experimentales

	Cambios observados del pre- al post-test			
	P valor entre grupos	Diferencias estandarizadas (Cohen: 90% IC)	Probabilidad de que el efecto sea beneficioso/no claro/perjudicial	Probabilidad cuantitativa
T₁₀				
Sub-13 vs. Sub-15	0.704	0.23 (-0.21 a 0.68)	55/40/5	No claro
Sub-13 vs. Sub-17	0.851	0.14 (-0.19 a 0.46)	37/58/4	Posible
Sub-15 vs. Sub-17	0.993	-0.06 (-0.45 a 0.33)	28/60/13	No claro
T_{10_20}				
Sub-13 vs. Sub-15	0.017	0.34 (0.12 a 0.55)	86/14/0	Probable
Sub-13 vs. Sub-17	0.000	0.43 (0.27 a 0.60)	99/1/0	Muy probable
Sub-15 vs. Sub-17	0.101	0.31 (0.11 a 0.51)	83/17/0	Probable
T₂₀				
Sub-13 vs. Sub-15	0.127	0.29 (0.02 a 0.55)	71/29/0	Posible
Sub-13 vs. Sub-17	0.112	0.22 (0.02 a 0.42)	57/43/0	Posible
Sub-15 vs. Sub-17	1.00	0.02 (-0.19 a 0.23)	7/88/5	Probable no claro
CMJ				
Sub-13 vs. Sub-15	0.772	0.10 (-0.11 a 0.32)	22/76/1	Probable no claro
Sub-13 vs. Sub-17	0.058	0.26 (0.06 a 0.46)	69/31/0	Posible
Sub-15 vs. Sub-17	0.306	0.25 (0.01 a 0.49)	63/37/0	Posible
AV				
Sub-13 vs. Sub-15	0.081	0.53 (0.07 a 0.99)	89/11/1	Probable
Sub-13 vs. Sub-17	0.000	1.41 (1.00 a 1.82)	100/0/0	Casi seguro
Sub-15 vs. Sub-17	0.001	0.90 (0.58 a 1.22)	100/0/0	Casi seguro
1RM_{est}				
Sub-13 vs. Sub-15	0.001	0.43 (0.18 a 0.67)	94/6/0	Probable
Sub-13 vs. Sub-17	0.000	0.54 (0.36 a 0.72)	100/0/0	Casi seguro
Sub-15 vs. Sub-17	0.027	0.44 (0.26 a 0.63)	98/2/0	Muy probable

Pre: evaluación inicial; Post: evaluación final; IC: intervalo de confianza; Sub-13: menores de 13 años (n = 15); Sub-15: menores de 15 años (n = 14); Sub-17: menores de 17 años (n = 14); T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: countermovement jump; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test; 1RM_{est}: repetición máxima estimada. *Nota:* Todas las diferencias son presentadas como mejoras para el primer grupo comparado con el segundo grupo (p.ej., Sub-13 vs Sub-15), de manera que las diferencias negativas y positivas son en la misma dirección.

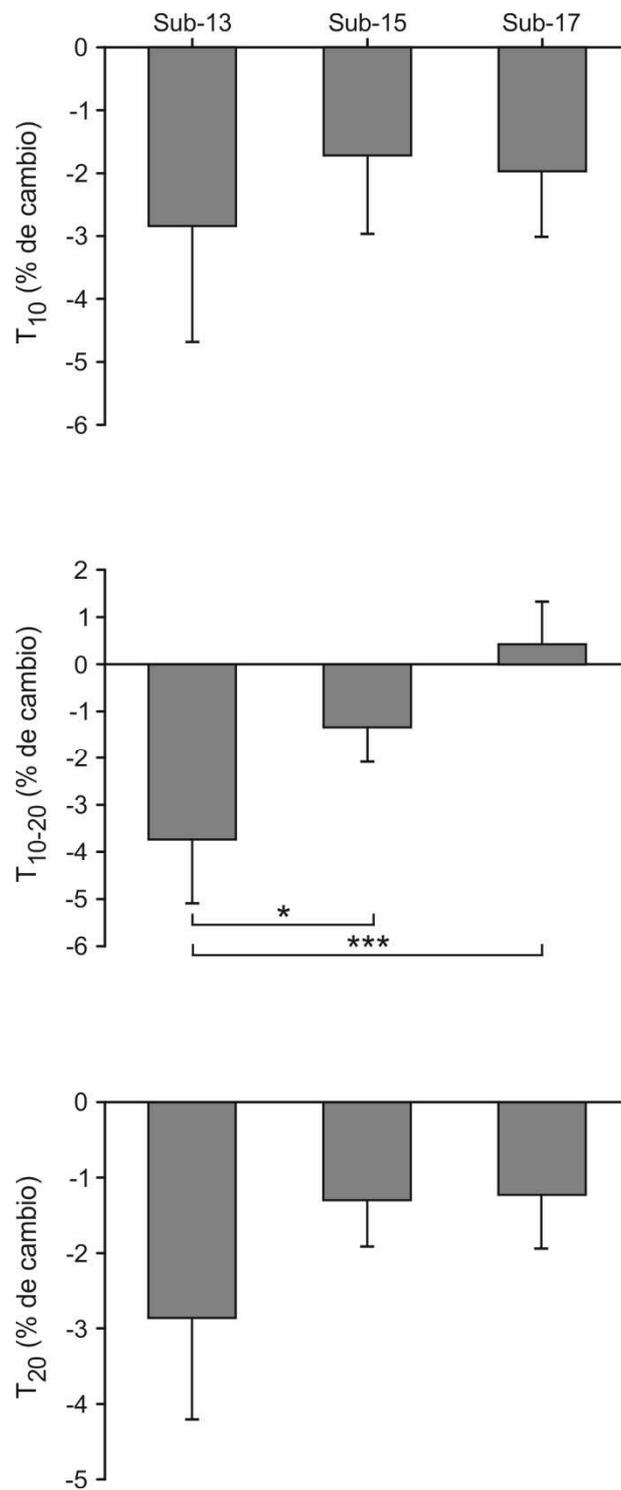


Figura 6. Cambios relativos en el rendimiento en *sprint* (T₁₀, T₁₀₋₂₀ y T₂₀) después del periodo de 6 semanas de entrenamiento en los grupos experimentales sub-13, sub-15 y sub-17. Diferencias significativas entre grupos: * $P \leq 0,05$, ** $P < 0,001$. T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros

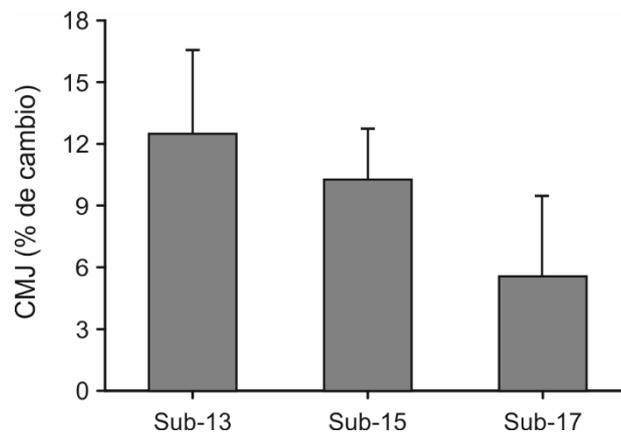


Figura 7. Cambios relativos en los resultados del test de salto con contramovimiento (CMJ) después del periodo de 6 semanas de entrenamiento en los grupos experimentales sub-13, sub-15 y sub-17.

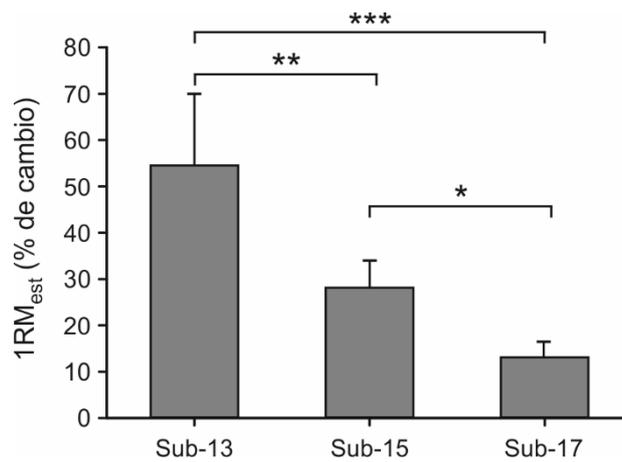


Figura 8. Cambios relativos en el rendimiento en fuerza después del periodo de 6 semanas de entrenamiento en los grupos experimentales sub-13, sub-15 y sub-17. Diferencias significativas entre grupos: * $P \leq 0,05$, ** $P < 0,01$, *** $P < 0,001$. 1RM_{est}: repetición máxima estimada.

4.3.4. Discusión

Para nuestro conocimiento, este es el primer estudio que analizó y comparó el efecto de un mismo programa de entrenamiento de fuerza de corta duración con cargas bajas y bajo volumen combinado con pliometría sobre el rendimiento físico en jugadores de fútbol de diferentes edades (sub-13, sub-15 y sub-17). En general, los resultados del presente estudio mostraron que: (a) todos los GEs obtuvieron mayores mejoras significativas y prácticas en el rendimiento en fuerza, salto y *sprint* que los correspondientes GCs; y (b) el porcentaje de cambio en las variables evaluadas en respuesta a un determinado estímulo de entrenamiento disminuyeron progresivamente a medida que aumentó la edad de los jugadores de fútbol. Por tanto, nuestros resultados confirman nuestra hipótesis de que añadir al entrenamiento habitual de fútbol un mismo programa de entrenamiento de fuerza, ejecutado a la máxima velocidad posible ante cada carga, puede ser una estrategia efectiva para mejorar la fuerza muscular y otros factores relevantes para el rendimiento físico en fútbol, independientemente de la edad. Sin embargo, las mejoras en el rendimiento físico parecen ser dependientes de la edad de los jugadores y de los niveles iniciales de fuerza.

Tras el periodo de entrenamiento, los grupos GE₁₃ y GE₁₅ mostraron mejoras significativas en todas las variables evaluadas comparados con los GC₁₃ y GC₁₅, respectivamente, mientras que las diferencias entre GE y GC en los jugadores de 17 años sólo fueron significativas en el tiempo en *sprint* y fuerza máxima (**Tablas 8-10**). De acuerdo con nuestros resultados, estudios anteriores también mostraron aumentos similares en el rendimiento en fuerza máxima, salto y *sprint* (Bogdanis et al., 2007; Chelly et al., 2009; Franco-Marquez et al., 2015; Gonzalez-Badillo et al., 2015; Rodriguez-Rosell et al., 2016; Ronnestad et al., 2008; Silva, Nassis, & Rebelo, 2015) después de un programa de entrenamiento de fuerza o la combinación del mismo con pliometría con una duración y frecuencia de entrenamiento similar entre jugadores de fútbol de diferentes edades. Sin embargo, otros estudios (Chelly et al., 2009; Kotzamanidis et al., 2005; Ronnestad et al., 2008) llevados a cabo con cargas de moderadas-altas (60–90% 1RM), repeticiones por serie al fallo o cercanas al fallo (8–15 repeticiones), y cortos periodos de descanso entre series (1–2 minutos) no mostraron cambios significativos en acciones de rendimiento relacionadas con el deporte, particularmente en el tiempo en *sprint*. Estos resultados están en concordancia con los obtenidos en un meta-análisis reciente, el cual mostró que el entrenamiento de fuerza con alta intensidad produjo un menor incremento

en el rendimiento en *sprint* ($ES = -0,52$) que con cargas más bajas ($ES = -0,97$) (Seitz, Reyes, Tran, Saez de Villarreal, & Haff, 2014). Dado que esprintar requiere un alto grado de producción de fuerza propulsiva y movimientos rápidos, estos resultados pueden ser explicados por el principio de especificidad del entrenamiento, ya que el entrenamiento de fuerza con cargas altas y alto número de repeticiones por serie provoca velocidades de contracción bajas y mayor estrés mecánico y metabólico que un programa de entrenamiento con el mismo volumen pero con intensidades relativas menores, dando lugar a una menor mejora en el rendimiento en *sprint* (Seitz et al., 2014). De manera similar, dado que las adaptaciones neuromusculares dependen de las características de los estímulos de entrenamiento, parece necesario la incorporación de un entrenamiento de fuerza con cargas ligeras, ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible junto con otros ejercicios con vectores de fuerza horizontales para garantizar una mayor velocidad máxima y aceleración. Por tanto, nuestros resultados refuerzan la necesidad de añadir un programa de entrenamiento de fuerza a alta velocidad al entrenamiento habitual de fútbol para mejorar aún más la condición física de los jugadores jóvenes.

Aunque el programa de entrenamiento de fuerza fue beneficioso para todos los grupos, los efectos del entrenamiento fueron menores cuanto mayor fue la edad cronológica. De este modo, los jugadores de fútbol sub-13 mostraron mayores TE intra-grupo y porcentajes de cambio que sub-15 y sub-17 en todas las variables evaluadas. Las diferencias entre sub-15 y sub-17 fueron principalmente relevantes en el CMJ y significativas en las variables de fuerza a favor de sub-15 (**Tabla 11** y **Figuras 6–8**). Los cambios en las variables de fuerza en el presente estudio están en contraste con los resultados de un reciente meta-análisis (Behringer et al., 2010) en el cual se mostró que sujetos en etapa puberal y postpuberal tuvieron más probabilidad de aumentar los niveles de fuerza después de un entrenamiento de fuerza ($ES = 1,91$) comparado con niños prepúberes ($ES = 0,81$). Sin embargo, los estudios que han examinado el efecto de la edad cronológica o maduración sobre el rendimiento en fuerza son escasos (Lillegard et al., 1997; Meylan et al., 2014; Pfeiffer & Francis, 1986; Sander et al., 2013; Vrijens, 1978) y muestran resultados contradictorios. En este sentido, en los estudios expuestos anteriormente los resultados varían generalmente desde no diferencias en las ganancias en fuerza entre grupos de entrenamiento de diferentes edades (Lillegard et al., 1997; Pfeiffer & Francis, 1986) a un mayor porcentaje de cambio en sujetos postpuberales comparados con pre- y puberales en respuesta a un determinado estímulo de

entrenamiento (Meylan et al., 2014; Vrijens, 1978). La discrepancia con nuestros resultados puede ser explicada por el historial (experiencia) de entrenamiento (el cual está asociado con el nivel inicial de fuerza) ya que los sujetos de la mayoría de estos estudios eran considerados no entrenados, mientras que en el presente estudio los sujetos eran jugadores con experiencia en el entrenamiento de fútbol de al menos 2–6 años, lo cual podría tener una influencia directa sobre los resultados, en la misma línea de las conclusiones de Ford et al. (2011). Curiosamente, el único estudio realizado con jugadores de fútbol de grupos de edad similares a los de nuestro estudio (sub-13, sub-15 y sub-17) mostró resultados similares, con mayores mejoras en fuerza en aquellos jugadores más jóvenes comparado con los de mayor edad (Sander et al., 2013). Además de por la experiencia de entrenamiento, las diferencias en las ganancias de fuerza entre grupos de edades distintas también pueden deberse a varios factores, incluidos el rango de edad de los sujetos, el diseño del programa de entrenamiento, el grupo muscular/acción valorada, y los ejercicios/test utilizados. Por lo tanto, aunque nuestros resultados coinciden con estos estudios que indican que las ganancias de fuerza están relacionadas con los niveles iniciales y la edad cronológica de los sujetos (Ford et al., 2011), parece que se requieren más investigaciones que examinen las ganancias de fuerza en función de la edad biológica para determinar si existe una ventana óptima para la entrenabilidad de la fuerza. Además, las investigaciones deberían centrarse también en la manipulación de las diferentes variables que permiten la configuración del entrenamiento de fuerza (p. ej., volumen, frecuencia, carga, velocidad de desplazamiento de la carga, tiempos de recuperación, y tipo de ejercicio) con el fin de optimizar las ganancias producidas por el entrenamiento de fuerza en niños y adolescentes (Ford et al., 2011).

Con respecto al rendimiento en salto y *sprint*, los resultados del presente estudio mostraron una tendencia similar a las variables de fuerza, con menores niveles de mejoras a medida que aumentaba la edad (**Figuras 6 y 7**). Dado que el rendimiento en salto y *sprint* tiene una estrecha relación con la ganancia de fuerza máxima (Franco-Marquez et al., 2015; Rodriguez-Rosell et al., 2016; Wisloff et al., 2004), las menores mejoras ocurridas en ambas variables en los jugadores de mayor edad comparados con los más jóvenes podría ser debida, al menos en parte, a las menores ganancias en fuerza mostradas por los jugadores de mayor edad. En línea con nuestros resultados, un reciente meta-análisis en el que se analizaron los efectos del entrenamiento de fuerza sobre el rendimiento en habilidades motoras en niños y adolescentes reveló un coeficiente de

correlación negativo significativo entre la edad de los sujetos y la magnitud del TE, indicando que el entrenamiento de fuerza produce mayores efectos beneficiosos sobre el salto y *sprint* en sujetos más jóvenes (Behringer et al., 2011). De hecho, a diferencia del rendimiento en fuerza, la mayoría de los estudios en los que se analiza el efecto de la edad cronológicas sobre los cambios en el rendimiento motor tras un programa de entrenamiento de fuerza (Gabbett et al., 2008; Lillegard et al., 1997; Sander et al., 2013) han mostrado ganancias superiores en los sujetos más jóvenes comparado con individuos de mayor edad, aunque otros (Lloyd et al., 2016b; Meylan et al., 2014) han encontrado resultados mixtos dependiendo de la variable evaluada y el método de entrenamiento de fuerza utilizado. Por ejemplo, Lloyd et al. (Lloyd et al., 2016b) compararon el efecto de 6 semanas de entrenamiento utilizando diferentes métodos de entrenamiento de fuerza (entrenamiento de fuerza con cargas altas, entrenamiento pliométrico y la combinación de ambos métodos) sobre el rendimiento en *sprint* y salto en niños pre- y postadolescentes. Los resultados de este estudio (Lloyd et al., 2016b) mostraron que: (a) el entrenamiento pliométrico produjo cambios de mayor magnitud en las variables de *sprint* y salto en sujetos preadolescentes comparado con los postadolescentes; (b) el entrenamiento de fuerza y el entrenamiento combinado resultó en mayores efectos beneficiosos sobre el tiempo en *sprint* (principalmente en T₁₀) para los postadolescentes que para los preadolescentes, mientras que el efecto sobre el rendimiento en salto fue al contrario. Estos resultados sugieren que el método de entrenamiento utilizado es un factor clave para determinar las adaptaciones inducidas por el entrenamiento en individuos de diferentes etapas madurativas, y, por tanto, es posible que cada grupo de edad necesite un estímulo de entrenamiento diferente para maximizar su desarrollo físico. En este sentido, la mayor habilidad general y capacidad de movimiento de los jugadores de fútbol de mayor edad comparado con los más jóvenes podría hacer más difícil alcanzar las mejoras en rendimiento después de periodos cortos de intervención. Así, de acuerdo con Lloyd et al. (2016) y con los resultados del presente estudio, parece que los individuos más jóvenes necesitan una menor carga de entrenamiento para obtener grandes mejoras en el rendimiento físico, mientras que la carga de entrenamiento debería ser aumentada progresivamente con la edad o nivel de madurez para permitir futuras mejoras.

4.3.5. Conclusiones

Las principales conclusiones del Estudio III fueron las siguientes:

- Todos los grupos de entrenamiento, independientemente de la edad, consiguieron mayores mejoras en el rendimiento en salto, *sprint* y fuerza de las piernas que los grupos control.
- Aunque los resultados del presente estudio sugieren que un entrenamiento de fuerza con cargas bajas y volumen bajo combinado con pliometría es un método de entrenamiento efectivo para mejorar el rendimiento físico en jugadores de fútbol de diferentes edades, estos hallazgos parecen indicar que factores relacionados con el salto, *sprint* y fuerza pueden desarrollarse en diferentes grados para individuos diferentes, ya que las ganancias obtenidas en estas variables después de la aplicación del mismo programa de entrenamiento se van atenuando a medida que aumenta la edad.

4.3.6. Aplicaciones prácticas

A pesar de la edad de los jugadores de fútbol, el entrenamiento de fuerza con cargas bajas y desplazando la carga a la máxima velocidad posible combinado con ejercicios pliométricos supone un estímulo efectivo que produce mayores mejoras en acciones fundamentales para el rendimiento en fútbol que aquellos generados por la práctica específica del fútbol, sin la necesidad de realizar repeticiones al fallo muscular. Sin embargo, parece que las características del entrenamiento (principalmente volumen, intensidad, y tipo de ejercicio) deberían modificarse en relación a la edad cronológica, nivel de madurez, y experiencia en el entrenamiento de fuerza. Además, considerando que el entrenamiento de fuerza aplicado en este estudio tiene una duración corta y una frecuencia baja, puede integrarse fácilmente dentro del habitual entrenamiento técnico-táctico de fútbol.

4.3.7. Limitaciones

Las limitaciones que nos encontramos en este estudio fueron similares a las encontradas en los *Estudio I* y *Estudio II*, principalmente relacionadas con el conocimiento real de la carga de entrenamiento que permitiera un ajuste de la misma.

5. Discusión general

El análisis conjunto de los resultados obtenidos en los tres estudios anteriores nos permite obtener unas mejores conclusiones respecto al efecto del entrenamiento de fuerza combinado con ejercicios pliométricos sobre jugadores de fútbol de diferentes categorías de edad.

El resultado de las interacciones mostró que, en casi todas las variables analizadas hubo interacción significativa ($P \leq 0,05$) en favor de los grupos experimentales, excepto en T_{10} en ambos grupos sub-15, T_{10-20} en sub-15 (*Estudio I*) y T_{10-20} y AV en sub-17. Esto indica la clara tendencia que tiene el entrenamiento de fuerza combinado a provocar mayores mejoras sobre la capacidad de salto, velocidad y fuerza de las piernas en comparación con la realización exclusiva del entrenamiento de fútbol.

En relación con el efecto del entrenamiento sobre la capacidad de *sprint*, los resultados de estos estudios parecen indicar que los cambios producidos por este tipo de entrenamiento presentan mayor significatividad cuanto menor es la edad de los participantes (sub-13, $P < 0,01 - 0,001$; sub-15, $P < 0,05 - 0,01$; y sub-17, $P < 0,05$). Igualmente, la magnitud de los cambios (TE) intra-grupo fue mayor cuanto menor fue la edad de los sujetos (sub-13 > sub-15 > sub-17) en la mayoría de las variables analizadas. En los grupos sub-13, los TE para las distintas variables de velocidad oscilaron entre: T_{10} (0,78 – 0,92), T_{10-20} (0,82-0,91) y T_{20} (0,75); en los grupos sub-15: T_{10} (0,35 – 0,50), T_{10-20} (0,25 – 0,29) y T_{20} (0,29 – 0,36); y en sub-17: T_{10} (0,67), T_{10-20} (0) y T_{20} (0,40). De todos estos cambios, solo en la variable T_{10-20} del grupo sub-17 estaba incluido el 0 en el intervalo de confianza al 90 % del TE, lo cual parece indicar que un entrenamiento de fuerza combinado con las características propuestas en estos estudios, es un método efectivo para mejorar la capacidad de *sprint* en jugadores de fútbol, independientemente de la edad. La comparación entre las diferentes variables parece indicar que el efecto del entrenamiento tiende a ser mayor en la variable T_{10} que en las variables T_{10-20} y T_{20} en los diferentes grupos de edad. Además de lo observado en el análisis del TE intra-grupo, el cálculo del TE entre grupos también parece mostrar un efecto más beneficioso en los grupos de menor edad, principalmente en las variables T_{10-20} y T_{20} (**Tabla 13**), aunque entre los grupos sub-15 y sub-17 la variable T_{20} no presentó diferencias. Un aspecto interesante fue que, de las tres variables analizadas sobre la capacidad de *sprint*, el T_{10} fue la que menor diferencias presentó entre grupos.

Un hallazgo relevante al comparar los efectos del entrenamiento en los grupos sub-15 (sub-15A vs sub-15B) fue que, a pesar de que en el grupo sub-15A (*Estudio I*) el programa de entrenamiento tuvo un ejercicio más (segundos de triple salto) que el llevado a cabo por el grupo sub-15B (*Estudio III*), esto no se tradujo en mayores mejoras sobre la capacidad de *sprint* (**Tabla 13**). Estos resultados no están en concordancia con los obtenidos por Ramírez-Campillo et al. (2015b), quienes encontraron que la combinación de ejercicios pliométricos de componente vertical y horizontal provocan mayores cambios sobre el tiempo en 15 y 30 metros que la realización de cada uno por separado. Por tanto, parece que la realización de un ejercicio pliométrico más de componente horizontal junto al ejercicio de sentadilla completa, saltos verticales y *sprints* no tiene efectos superiores que la no inclusión de este ejercicio en futbolistas adolescentes.

Existen pocos estudios (Gonzalez-Badillo et al., 2015; Sander et al., 2013) que hayan analizado el efecto de un entrenamiento de similares características sobre sujetos de diferentes categorías de edad. González-Badillo et al. (2015) compararon el efecto de un entrenamiento de fuerza de similares características, pero con una duración mayor (26 semanas) en jugadores de fútbol de dos categorías de edad similares a las nuestras (sub-16 y sub-18). Estos autores encontraron que para el T₂₀ ambos grupos mostraron mejoras significativas ($P \leq 0,05$), con un TE y una probabilidad de cambio mayor a favor de sub-18 comparado con sub-16 (TE: 0,37; 87/13/0%, y TE: 0,23; 62/48/0%, respectivamente). Estos resultados difieren de los mostrados en la presente Tesis ya que, como se ha indicado anteriormente, los grupos sub-15 y sub-17 no presentaron diferencias en la variable T₂₀.

Tabla 13. Diferencias estandarizadas (TE) entre grupos y probabilidad de que el efecto sea beneficioso, trivial o perjudicial

		T ₁₀	T ₁₀₋₂₀	T ₂₀	CMJ	AV	1RM _{est}
Sub-13A vs Sub-13B	TE (IC 90 %)	-0,05 (-0,77 a 0,68)	-0,05 (-0,48 a 0,39)	-0,04 (-0,55 a 0,47)	-0,02 (-0,32 a 0,28)	0,05 (-0,45 a 0,56)	-0,05 (-0,40 a 0,31)
	% cambios	28/36/36	17/55/28	21/49/30	11/73/16	31/49/20	12/64/24
Sub-13A vs Sub-15A	TE (IC 90 %)	0,28 (-0,13 a 0,70)	0,32 (0,11 a 0,52)	0,29 (0,04 a 0,54)	0,15 (-0,06 a 0,36)	0,67 (0,20 a 1,15)	0,46 (0,20 a 0,72)
	% cambios	63/34/3	83/17/0	73/27/0	35/64/0	95/5/0	95/5/0
Sub-13A vs Sub-15B	TE (IC 90 %)	0,21 (-0,23 a 0,64)	0,32 (0,10 a 0,53)	0,26 (0 a 0,52)	0,09 (-0,12 a 0,30)	0,59 (0,14 a 1,05)	0,45 (0,20 a 0,70)
	% cambios	51/43/6	82/18/0	66/34/0	19/80/1	93/7/0	95/5/0
Sub-13A vs Sub-17	TE (IC 90 %)	0,12 (-0,20 a 0,43)	0,42 (0,26 a 0,58)	0,20 (0,01 a 0,40)	0,25 (0,05 a 0,46)	1,47 (1,07 a 1,87)	0,58 (0,40 a 0,75)
	% cambios	33/62/5	98/2/0	51/49/0	67/33/0	100/0/0	100/0/0
Sub-13B vs Sub-15A	TE (IC 90 %)	0,31 (-0,12 a 0,74)	0,34 (0,13 a 0,55)	0,31 (0,05 a 0,57)	0,16 (-0,05 a 0,38)	0,61 (0,12 a 1,09)	0,44 (0,18 a 0,69)
	% cambios	67/31/3	87/13/0	77/23/0	40/60/0	92/8/0	94/6/0
Sub-13B vs Sub-15B	TE (IC 90 %)	0,23 (-0,21 a 0,68)	0,34 (0,12 a 0,55)	0,29 (0,02 a 0,55)	0,10 (-0,11 a 0,32)	0,53 (0,07 a 0,99)	0,43 (0,18 a 0,67)
	% cambios	55/40/5	86/14/0	71/29/0	22/76/1	89/11/1	94/6/0
Sub-13B vs Sub-17	TE (IC 90 %)	0,14 (-0,19 a 0,46)	0,43 (0,27 a 0,60)	0,22 (0,02 a 0,42)	0,26 (0,06 a 0,46)	1,41 (1,00 a 1,82)	0,54 (0,36 a 0,72)
	% cambios	37/58/4	99/1/0	57/43/0	69/31/0	100/0/0	100/0/0
Sub-15A vs Sub-15B	TE (IC 90 %)	-0,13 (-0,61 a 0,36)	-0,02 (-0,22 a 0,19)	-0,06 (-0,30 a 0,18)	-0,08 (-0,28 a 0,13)	-0,03 (-0,43 a 0,37)	0,01 (-0,27 a 0,30)
	% cambios	13/47/40	4/90/6	4/79/17	1/83/15	17/59/24	14/76/11
Sub-15A vs Sub-17	TE (IC 90 %)	-0,18 (-0,60 a 0,23)	0,32 (0,11 a 0,52)	-0,04 (-0,27 a 0,19)	0,20 (-0,07 a 0,46)	0,94 (0,62 a 1,27)	0,49 (0,28 a 0,70)
	% cambios	6/46/47	82/18/0	5/83/12	49/50/1	100/0/0	99/1/0
Sub-15B vs Sub-17	TE (IC 90 %)	-0,06 (-0,45 a 0,33)	0,31 (0,11 a 0,51)	0,02 (-0,19 a 0,23)	0,25 (0,01 a 0,49)	0,90 (0,58 a 1,22)	0,44 (0,26 a 0,63)
	% cambios	28/60/13	83/17/0	7/88/5	63/37/0	100/0/0	98/2/0

IC: intervalo de confianza; Sub-13A: menores de 13 años Estudio II; Sub-13B: menores 13 años Estudio III; Sub-15A: menores de 15 años Estudio I; Sub-15B: menores de 15 años Estudio III; Sub-17: menores de 17 años; T₁₀: tiempo en 10 metros; T₁₀₋₂₀: tiempo en 10-20 metros; T₂₀: tiempo en 20 metros; CMJ: countermovement jump; AV: promedio de la VMP obtenida ante las cargas comunes del pre- y post-test; 1RM_{est}: repetición máxima estimada. *Nota:* Todas las diferencias son presentadas como mejoras para el primer grupo comparado con el segundo grupo (p.ej., SUB-13 vs U15), de manera que las diferencias negativas y positivas son en la misma dirección.

Por otro lado, encontramos otro estudio (Sander et al., 2013) llevado a cabo con jugadores de fútbol y categorías de edad iguales a la nuestra, aunque con una duración de dos años. Al igual que los resultados encontrados en esta Tesis, este estudio (Sander et al. 2013) mostró que tanto el T₁₀ como el T₂₀ presentaron mejoras mayores y significativas a favor de los grupos experimentales respecto a los grupos control. Además, al igual que en nuestro estudio, el porcentaje de cambio fue mayor cuanto menor era la edad de los sujetos (sub-13 > sub-15 > sub-17). Aunque los resultados fueron similares, a diferencia de nuestro estudio y el de González-Badillo (2015), las características del entrenamiento llevado a cabo por Sander et al. (2013) fueron muy diferentes tanto en lo relacionado con el volumen e intensidad, como en los ejercicios utilizados. En este estudio se llevaron a cabo repeticiones cercanas al fallo (4, 6 y 10RM) e intensidades superiores a las utilizadas por González-Badillo y nosotros, además de que ellos solo realizaron entrenamiento de fuerza con cargas externas adicionales, mientras que nosotros utilizamos un entrenamiento de fuerza con cargas externas combinado con ejercicios pliométricos y velocidad. Por tanto, parece ser que no es necesario realizar entrenamientos con cargas altas y repeticiones al fallo para obtener ganancias sobre la capacidad de *sprint* en futbolistas adolescentes.

En lo referente a la capacidad de salto, los resultados de nuestros estudios mostraron que al igual que la velocidad, cuanto menor era la edad de los sujetos, mayor fue la magnitud del cambio intra-grupo, y mayor efecto tuvo el entrenamiento de fuerza (TE: 0,71-0,78; 0,58; 0,41; para sub-13, sub-15 y sub-17, respectivamente, todos ellos sin incluir el 0 en el IC al 90 %). Estos resultados parecen discrepar de los obtenidos por González-Badillo et al. (2015), quienes encontraron similares TE intra-grupo para los grupos de sub-16 y sub-18 (TE: 0,91 y 0,90, respectivamente). En lo que respecta al análisis entre grupos, nuestros resultados mostraron que, aunque parece existir una cierta tendencia a que el efecto del entrenamiento es favorable a los grupos de menor edad, estas no son lo suficientemente fuertes como para establecer que en todos los casos se dan diferencias entre los distintos grupos, ya que solo las comparaciones sub-13A vs sub-17, sub-13B vs U17 y sub-15B vs U17; no contuvieron el 0 dentro del IC al 90 % (TE: 0,25 (0,05 a 0,46); 0,26 (0,06 a 0,46); y 0,25 (0,01 a 0,49); respectivamente) (**Tabla 13**). Estos resultados si se asemejan a los encontrados por González-Badillo et al. (2015) quienes mostraron un TE de 0,31 (-0,07 a 0,69; IC: 90 %) y una probabilidad de cambio 69/29/2 en la comparación entre sub-16 y sub-18. Por lo tanto, estos resultados parecen indicar que el

efecto del entrenamiento combinado tiene una mayor magnitud de cambio en los sujetos de menor edad en comparación con sujetos de la misma categoría que sólo realizaron entrenamiento de fútbol. Sin embargo, la comparación entre grupos parece indicar que este efecto se reduce y las diferencias, aunque tienden a ser favorables a los grupos de menor edad, no son todas consideradas como cambios probablemente distintos.

En los tres estudios que componen esta Tesis, el entrenamiento de fuerza provocó cambios favorables en la capacidad de las piernas para producir fuerza en cada uno de los grupos que participaron en los estudios. Sin embargo, estos cambios, al igual que en la capacidad de *sprint* y salto, presentaron un efecto mayor cuanto menor fue la edad de los sujetos en las dos variables de fuerza analizadas (AV y $1RM_{est}$). Para la variable AV, los TE intra-grupo oscilaron de 2,10-2,24 para sub-13, de 1,74-1,78 para sub-15 y 1,04 para sub-17, mientras que para la $1RM_{est}$ oscilaron de 1,10-1,30 para sub-13, de 1,14-1,16 para U15 y 0,81 para sub-17. Aunque la variable analizada no fue la misma, González-Badillo et al. (2015) presentaron cambios similares en la carga con la que se alcanzó la velocidad media propulsiva de $1\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ($C1\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), obteniendo un efecto mayor en sub-16 (TE: 2,86) que en sub-18 (TE: 1,31). Además, tanto en la presente Tesis como en el estudio de González-Badillo et al. (2015) la comparación entre grupos presentó TE favorables a los grupos de menor edad tanto en la variable AV como en la variable $1RM_{est}$, así como porcentajes de cambios *probables*, *muy probables* y *casi seguros* favorables a los grupos de menor edad (**Tabla 13**). Por otro lado, Sander et al. (2013) también presentaron mayores porcentajes de cambio cuanto menor fue la edad de los participantes para la variable 1RM. Por lo tanto, parece que el efecto del entrenamiento de fuerza combinado usando cargas bajas y un volumen bajo es un estímulo suficiente para producir cambios positivos en futbolistas de diferentes edades y que, además, la misma carga de entrenamiento presenta mayores efectos en aquellos sujetos de menor edad.

Por último, aunque el análisis de la carga de entrenamiento sólo se llevó a cabo en el *Estudio I* (sub-15), las conclusiones extraídas del mismo se pueden extrapolar al resto de estudios, pudiendo suponer que, como la mejora sobre la $1RM_{est}$ fue mayor en los sujetos de menor edad (50-53 %), la carga relativa de entrenamiento utilizada durante gran parte del ciclo de entrenamiento fue menor, como término medio, a la programada. En cambio, en los sujetos de mayor edad, el porcentaje de cambio fue solo del 13 %, por lo que, aunque la carga de entrenamiento también pudo diferir de la utilizada en una parte importante de los sujetos, el grado en el que lo hizo fue menor. Por tanto, esto nos puede

llevar a sugerir que la dinámica de carga relativa realizada por cada grupo de edad fue distinta, pudiendo llegar a ser regresiva para algunos participantes en los sub-13 y sub-15, y en menor medida en los sub-17. Estos hechos nos hacen reflexionar sobre la relevancia de conocer el valor real de la carga con la que se entrena en cada momento del ciclo, ya que, si la mejora de cada sujeto es diferente a lo largo de este, cada individuo habrá realizado una progresión de la carga distinta, y, por tanto, el estímulo de entrenamiento no habrá sido el mismo. Esto provoca que la comparación de los efectos del entrenamiento se vea comprometida ya que posiblemente se aplicaron estímulos diferentes. Estos acontecimientos le dan valor a la aportación tan importante que ha supuesto la medición de la velocidad de ejecución para el avance en la metodología del entrenamiento, ya que, entre otras muchas cosas, nos permite conocer el grado y el tiempo de adaptación de manera individual. Sin embargo, aunque el control de la velocidad nos hubiera aportado información muy válida sobre el grado y temporalidad de los cambios, probablemente, en una gran mayoría de los sujetos, la dinámica de carga utilizada fue favorable, lo que nos permite sugerir que un aumento de la carga absoluta en sujetos sin experiencia o con poca experiencia en el entrenamiento de fuerza se puede considerar, en muchos casos, un estímulo suficiente para provocar mejoras de la fuerza, aunque se produzca un descenso en la intensidad relativa a lo largo del ciclo.

6. Conclusiones Generales

Con el análisis conjunto de los resultados obtenidos en los diferentes estudios concluimos que:

- Un entrenamiento de fuerza con cargas relativas bajas, bajo número de repeticiones por serie –siempre lejos de la mitad de las repeticiones posibles en la serie–, y ejecutando cada repetición a la máxima velocidad posible, combinado con ejercicios pliométricos y de velocidad de desplazamiento en carrera, provoca mayores mejoras en el rendimiento en salto, *sprint* y fuerza de las piernas que realizar solamente el entrenamiento de fútbol, cualquiera que sea la edad de los sujetos entre 12 y 18 años, aunque se observa una tendencia, en algunos casos significativa, a que estos efectos sean mayores cuanto menor es la edad.

7. Aplicaciones prácticas generales

Nuestros resultados sugieren al menos dos aplicaciones prácticas relevantes:

- Si se pretende mejorar el salto vertical, la aceleración en distancias de 20 m y la fuerza de las piernas, estimada a través del cambio de velocidad con la que se desplaza una misma carga absoluta, en jugadores de fútbol de edades comprendidas entre 12 y 18 años, sería aconsejable realizar un entrenamiento de las características del descrito en la conclusión del presente estudio
- Si se quiere mejorar el conocimiento sobre el verdadero estímulo (especialmente, la intensidad relativa) que ha provocado un determinado efecto individual sobre el rendimiento físico, es suficiente medir la velocidad con la que se desplaza una misma carga absoluta antes y después del periodo de entrenamiento. Este mejor conocimiento sería determinante para la mejora de la metodología de entrenamiento.

8. Limitaciones generales

La limitación de este estudio, como ha ocurrido en todos los estudios realizados a lo largo de la historia en todos los deportes, es que no hemos podido conocer la carga real individual (esfuerzo realizado por cada sujeto en cada sesión) aplicada a cada sujeto a lo largo de los periodos de entrenamiento, lo cual nos hubiera permitido conocer con alta precisión cuál ha sido la carga responsable del efecto producido en cada caso. El esfuerzo realizado por cada sujeto en cada sesión se habría estimado a través del conocimiento de la velocidad de la primera repetición y el grado de pérdida de velocidad en el conjunto de las series realizadas. Pero esta deficiencia se ha podido atenuar en parte habiendo medido la velocidad de ejecución antes y después del entrenamiento.

9. Futuras líneas de investigación

Un posible avance en la línea de investigación planteada en el apartado de limitaciones del estudio podría ser comparar el efecto de ajustar o no la carga absoluta en base a la carga relativa programada a través de la velocidad de ejecución de la primera repetición de la serie en jugadores de fútbol menores de edad. En este estudio sería importante conocer también la pérdida de velocidad en la serie en todas las sesiones de cada sujeto, lo cual nos permitiría conocer el grado de fatiga a través del cálculo del Índice de Esfuerzo (IE) (Rodríguez-Rosell et al., 2018) alcanzado por cada deportista en cada sesión. Una vez comprobado el efecto de este ajuste, sería muy relevante conocer, por una parte, el efecto de la aplicación de distintos IE ante una misma intensidad relativa, y, por otra, el efecto ante el mismo número de repeticiones en la serie sin el ajuste de las cargas relativas

10. Referencias bibliográficas

- Aagaard, P., Simonsen, E. B., Andersen, J. L., Magnusson, P., & Dyhre-Poulsen, P. (2002). Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol (1985)*, 93(4), 1318-1326.
- Alcaraz, P. E., Carlos-Vivas, J., Oponjuru, B. O., & Martinez-Rodriguez, A. (2018). The effectiveness of resisted sled training (RST) for sprint performance: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 48(9), 2143-2165.
- Apriantono, T., Nunome, H., Ikegami, Y., & Sano, S. (2006). The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci*, 24(9), 951-960.
- Atkinson, G., & Nevill, A. M. (1998). Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports Med*, 26(4), 217-238.
- Bangsbo, J., Norregaard, L., & Thorso, F. (1991). Activity profile of competition soccer. *Can J Sport Sci*, 16(2), 110-116.
- Bedoya, A. A., Miltenberger, M. R., & Lopez, R. M. (2015). Plyometric training effects on athletic performance in youth soccer athletes: a systematic review. *J Strength Cond Res*, 29(8), 2351-2360.
- Behm, D. G., Faigenbaum, A. D., Falk, B., & Klentrou, P. (2008). Canadian society for exercise physiology position paper: resistance training in children and adolescents. *Appl Physiol Nutr Metab*, 33(3), 547-561.
- Behm, D. G., Young, J. D., Whitten, J. H. D., Reid, J. C., Quigley, P. J., Low, J., Li, Y., Lima, C. D., Hodgson, D. D., Chaouachi, A., Prieske, O., & Granacher, U. (2017). Effectiveness of traditional strength vs. power training on muscle strength, power and speed with youth: a systematic review and meta-analysis. *Frontiers in Physiology*, 8(423).

- Behringer, M., Vom Heede, A., Matthews, M., & Mester, J. (2011). Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatr Exerc Sci*, 23(2), 186-206.
- Behringer, M., Vom Heede, A., Yue, Z., & Mester, J. (2010). Effects of resistance training in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatrics*, 126(5), e1199-1210.
- Bergeron, M. F., Mountjoy, M., Armstrong, N., Chia, M., Cote, J., Emery, C. A., Faigenbaum, A., Hall, G., Jr., Kriemler, S., Leglise, M., Malina, R. M., Pensgaard, A. M., Sanchez, A., Soligard, T., Sundgot-Borgen, J., van Mechelen, W., Weissensteiner, J. R., & Engebretsen, L. (2015). International Olympic Committee consensus statement on youth athletic development. *Br J Sports Med*, 49(13), 843-851.
- Beunen, G., & Malina, R. M. (1988). Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc Sport Sci Rev*, 16, 503-540.
- Bird, S. P., Tarpinning, K. M., & Marino, F. E. (2005). Designing resistance training programmes to enhance muscular fitness: a review of the acute programme variables. *Sports Med*, 35(10), 841-851.
- Blimkie, C. J. (1993). Resistance training during preadolescence. Issues and controversies. *Sports Med*, 15(6), 389-407.
- Bobbert, M. F., Huijing, P. A., & van Ingen Schenau, G. J. (1987). Drop jumping. I. The influence of jumping technique on the biomechanics of jumping. *Med Sci Sports Exerc*, 19(4), 332-338.
- Bogdanis, G., Papaspyrou, A., Souglis, A., Theos, A., Sotiropoulos, A., & Maridaki, M. (2007). *Effects of a hypertrophy and a maximal strength training programme on speed, force and power of soccer players*. Paper presented at the Science and Football VI. The proceedings of the sixth world congress on science and football, Antalya, Turkey.
- Bogdanis, G. C., Papaspyrou, A., Souglis, A. G., Theos, A., Sotiropoulos, A., & Maridaki, M. (2011). Effects of two different half-squat training programs on fatigue during repeated cycling sprints in soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(7), 1849-1856.

- Bojsen-Moller, J., Magnusson, S. P., Rasmussen, L. R., Kjaer, M., & Aagaard, P. (2005). Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol (1985)*, 99(3), 986-994.
- Bosquet, L., Berryman, N., & Dupuy, O. (2009). A comparison of 2 optical timing systems designed to measure flight time and contact time during jumping and hopping. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2660-2665.
- Braith, R. W., Graves, J. E., Leggett, S. H., & Pollock, M. L. (1993). Effect of training on the relationship between maximal and submaximal strength. *Med Sci Sports Exerc*, 25(1), 132-138.
- Buchheit, M., Mendez-Villanueva, A., Quod, M., Quesnel, T., & Ahmaidi, S. (2010). Improving acceleration and repeated sprint ability in well-trained adolescent handball players: speed versus sprint interval training. *Int J Sports Physiol Perform*, 5(2), 152-164.
- Cadore, E. L., Pinheiro, E., Izquierdo, M., Correa, C. S., Radaelli, R., Martins, J. B., Lhullier, F. L., Laitano, O., Cardoso, M., & Pinto, R. S. (2013). Neuromuscular, hormonal, and metabolic responses to different plyometric training volumes in rugby players. *J Strength Cond Res*, 27(11), 3001-3010.
- Campos-Vazquez, M. A., Romero-Boza, S., Toscano-Bendala, F. J., Leon-Prados, J. A., Suarez-Arrones, L. J., & Gonzalez-Jurado, J. A. (2015). Comparison of the effect of repeated-sprint training combined with two different methods of strength training on young soccer players. *J Strength Cond Res*, 29(3), 744-751.
- Comfort, P., Stewart, A., Bloom, L., & Clarkson, B. (2014). Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(1), 173-177.
- Croisier, J. L., Ganteaume, S., Binet, J., Genty, M., & Ferret, J. M. (2008). Strength imbalances and prevention of hamstring injury in professional soccer players: a prospective study. *Am J Sports Med*, 36(8), 1469-1475.

- Chaabene, H., & Negra, Y. (2017). The effect of plyometric training volume on athletic performance in prepubertal male soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*(9), 1205-1211.
- Chaouachi, A., Othman, A. B., Hammami, R., Drinkwater, E. J., & Behm, D. G. (2014). The combination of plyometric and balance training improves sprint and shuttle run performances more often than plyometric-only training with children. *J Strength Cond Res*, *28*(2), 401-412.
- Chelly, M. S., Fathloun, M., Cherif, N., Ben Amar, M., Tabka, Z., & Van Praagh, E. (2009). Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *J Strength Cond Res*, *23*(8), 2241-2249.
- Chelly, M. S., Ghenem, M. A., Abid, K., Hermassi, S., Tabka, Z., & Shephard, R. J. (2010). Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *J Strength Cond Res*, *24*(10), 2670-2676.
- Christou, M., Smilios, I., Sotiropoulos, K., Volaklis, K., Pilianidis, T., & Tokmakidis, S. P. (2006). Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J Strength Cond Res*, *20*(4), 783-791.
- Dalen, T., Ingebrigtsen, J., Ettema, G., Hjelde, G. H., & Wisloff, U. (2016). Player load, acceleration, and deceleration during forty-five competitive matches of elite soccer. *J Strength Cond Res*, *30*(2), 351-359.
- Davies, T., Orr, R., Halaki, M., & Hackett, D. (2016). Effect of training leading to repetition failure on muscular strength: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, *46*(4), 487-502.
- de Hoyo, M., Gonzalo-Skok, O., Sanudo, B., Carrascal, C., Plaza-Armas, J. R., Camacho-Candil, F., & Otero-Esquina, C. (2016). Comparative effects of in-season full-back squat, resisted sprint training, and plyometric training on explosive performance in U-19 elite soccer players. *J Strength Cond Res*, *30*(2), 368-377.

- de Villarreal, E. S., Kellis, E., Kraemer, W. J., & Izquierdo, M. (2009). Determining variables of plyometric training for improving vertical jump height performance: a meta-analysis. *J Strength Cond Res*, *23*(2), 495-506.
- Diallo, O., Dore, E., Duche, P., & Van Praagh, E. (2001). Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J Sports Med Phys Fitness*, *41*(3), 342-348.
- Draganidis, D., Chatzinikolaou, A., Jamurtas, A. Z., Carlos Barbero, J., Tsoukas, D., Theodorou, A. S., Margonis, K., Michailidis, Y., Avloniti, A., Theodorou, A., Kambas, A., & Fatouros, I. (2013). The time-frame of acute resistance exercise effects on football skill performance: the impact of exercise intensity. *J Sports Sci*, *31*(7), 714-722.
- Duthie, G. M., Pyne, D. B., Marsh, D. J., & Hooper, S. L. (2006). Sprint patterns in rugby union players during competition. *J Strength Cond Res*, *20*(1), 208-214.
- Ebben, W. (2007). Practical guidelines for plyometric intensity. *NSCA's Performance Training Journal*, *6*, 12-16.
- Faigenbaum, A. (2005). Early muscular fitness adaptations in children in response to two different resistance training regimens. *Pediatric Exercise Science*, *17*(3), 237-248.
- Faigenbaum, A. D. (2000). Strength training for children and adolescents. *Clin Sports Med*, *19*(4), 593-619.
- Faigenbaum, A. D. (2018). Youth resistance training: the good, the bad, and the ugly-the year that was 2017. *Pediatr Exerc Sci*, *30*(1), 19-24.
- Faigenbaum, A. D., Kraemer, W. J., Blimkie, C. J., Jeffreys, I., Micheli, L. J., Nitka, M., & Rowland, T. W. (2009). Youth resistance training: updated position statement paper from the national strength and conditioning association. *J Strength Cond Res*, *23*(5 Suppl), S60-79.
- Faigenbaum, A. D., Loud, R. L., O'Connell, J., Glover, S., O'Connell, J., & Westcott, W. L. (2001). Effects of different resistance training protocols on upper-body strength and endurance development in children. *J Strength Cond Res*, *15*(4), 459-465.

- Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Johnson, L., Kang, J., Bloom, J., Ratamess, N. A., & Hoffman, J. R. (2007a). Preliminary evaluation of an after-school resistance training program for improving physical fitness in middle school-age boys. *Percept Mot Skills, 104*(2), 407-415.
- Faigenbaum, A. D., McFarland, J. E., Keiper, F. B., Tevlin, W., Ratamess, N. A., Kang, J., & Hoffman, J. R. (2007b). Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J Sports Sci Med, 6*(4), 519-525.
- Faigenbaum, A. D., Milliken, L. A., Loud, R. L., Burak, B. T., Doherty, C. L., & Westcott, W. L. (2002). Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children. *Res Q Exerc Sport, 73*(4), 416-424.
- Faigenbaum, A. D., Milliken, L. A., & Westcott, W. L. (2003). Maximal strength testing in healthy children. *J Strength Cond Res, 17*(1), 162-166.
- Faigenbaum, A. D., & Myer, G. D. (2010). Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med, 44*(1), 56-63.
- Faigenbaum, A. D., Westcott, W. L., Loud, R. L., & Long, C. (1999). The effects of different resistance training protocols on muscular strength and endurance development in children. *Pediatrics, 104*(1), e5.
- Fatouros, I. G., Jamurtas, A. Z., Leontsini, D., Taxildaris, K., Aggelousis, N., Kostopoulos, N., & Buckenmeyer, P. (2000). Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and lg strength. *J Strength & Cond Res, 14*(4), 470-476.
- Faude, O., Koch, T., & Meyer, T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci, 30*(7), 625-631.
- Faude, O., Roth, R., Di Giovine, D., Zahner, L., & Donath, L. (2013). Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: a randomised-controlled trial. *J Sports Sci, 31*(13), 1460-1467.

- Flanagan, E., & Comyns, T. (2008). The use of contact time and the reactive strength index to optimize fast stretch-shortening cycle training. *Strength & Conditioning Journal*, 30(5), 32-38.
- Ford, P., De Ste Croix, M., Lloyd, R., Meyers, R., Moosavi, M., Oliver, J., Till, K., & Williams, C. (2011). The long-term athlete development model: physiological evidence and application. *J Sports Sci*, 29(4), 389-402.
- Franco-Marquez, F., Rodriguez-Rosell, D., Gonzalez-Suarez, J. M., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2015). Effects of combined resistance training and plyometrics on physical performance in young soccer players. *Int J Sports Med*, 36(11), 906-914.
- Gabbett, T. J., Johns, J., & Riemann, M. (2008). Performance changes following training in junior rugby league players. *J Strength Cond Res*, 22(3), 910-917.
- Gevat, C., Taskin, H., Arslan, F., Larion, A., & Stanculescu, G. (2012). The effects of 8-week speed training program on the acceleration ability and maximum speed running at 11 years athletes. *Coll Antropol*, 36(3), 951-958.
- Glatthorn, J. F., Gouge, S., Nussbaumer, S., Stauffacher, S., Impellizzeri, F. M., & Maffiuletti, N. A. (2011). Validity and reliability of Optojump photoelectric cells for estimating vertical jump height. *J Strength Cond Res*, 25(2), 556-560.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Gorostiaga, E. M., Arellano, R., & Izquierdo, M. (2005). Moderate resistance training volume produces more favorable strength gains than high or low volumes during a short-term training cycle. *J Strength Cond Res*, 19(3), 689-697.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Izquierdo, M., & Gorostiaga, E. M. (2006). Moderate volume of high relative training intensity produces greater strength gains compared with low and high volumes in competitive weightlifters. *J Strength Cond Res*, 20(1), 73-81.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Marques, M. C., & Sanchez-Medina, L. (2011). The importance of movement velocity as a measure to control resistance training intensity. *J Hum Kinet*, 29a, 15-19.

- Gonzalez-Badillo, J. J., Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Abad-Herencia, J. L., Del Ojo-Lopez, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2015). Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res*, 29(5), 1329-1338.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Ribas, J., Lopez-Lopez, C., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., & Pareja-Blanco, F. (2016). Short-term recovery following resistance exercise leading or not to failure. *Int J Sports Med*, 37(4), 295-304.
- Gonzalez-Badillo, J. J., & Sanchez-Medina, L. (2010). Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med*, 31(5), 347-352.
- Gonzalez-Badillo, J. J., Yanez-Garcia, J. M., Mora-Custodio, R., & Rodriguez-Rosell, D. (2017). Velocity loss as a variable for monitoring resistance exercise. *Int J Sports Med*, 38(3), 217-225.
- Gorostiaga, E. M., Izquierdo, M., Ruesta, M., Iribarren, J., Gonzalez-Badillo, J. J., & Ibanez, J. (2004). Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol*, 91(5-6), 698-707.
- Gregson, W., Drust, B., Atkinson, G., & Salvo, V. D. (2010). Match-to-match variability of high-speed activities in premier league soccer. *Int J Sports Med*, 31(4), 237-242.
- Harries, S. K., Lubans, D. R., & Callister, R. (2012). Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport*.
- Hedges, L., & Olkin, I. (1985). *Statistical methods in meta-analysis*. Orlando: Academic Press.
- Hejna, W. F., Rosenberg, A., Buturusis, D. J., & Krieger, A. (1982). The prevention of sports injuries in high school students through strength training. *Strength & Conditioning Journal*, 4(1), 28-31.

- Helgerud, J., Rodas, G., Kemi, O. J., & Hoff, J. (2011). Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med*, 32(9), 677-682.
- Hoeger, W. W. K., Hopkins, D. R., Barette, S. L., & Hale, D. F. (1990). Relationship between repetitions and selected percentages of one repetition maximum: a comparison between untrained and trained males and females. *J Strength & Cond Res*, 4(2), 47-54.
- Hoff, J. (2005). Training and testing physical capacities for elite soccer players. *J Sports Sci*, 23(6), 573-582.
- Hoff, J., & Helgerud, J. (2004). Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med*, 34(3), 165-180.
- Hoffman, J. R., Ratamess, N. A., Cooper, J. J., Kang, J., Chilakos, A., & Faigenbaum, A. D. (2005). Comparison of loaded and unloaded jump squat training on strength/power performance in college football players. *J Strength Cond Res*, 19(4), 810-815.
- Holloway, J. B., Beuter, A., & Duda, J. L. (1988). Self-efficacy and training for strength in adolescent girls. *Journal of Applied Social Psychology*, 18(8), 699-719.
- Hopkins, W. G., Marshall, S. W., Batterham, A. M., & Hanin, J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc*, 41(1), 3-13.
- Hughes, J. D., Denton, K., R, S. L., Oliver, J. L., & De Ste Croix, M. (2018). The impact of soccer match play on the muscle damage response in youth female athletes. *Int J Sports Med*.
- Ingle, L., Sleaf, M., & Tolfrey, K. (2006). The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J Sports Sci*, 24(9), 987-997.
- Izquierdo-Gabarren, M., Gonzalez De Txabarri Exposito, R., Garcia-pallares, J., Sanchez-medina, L., De Villarreal, E. S., & Izquierdo, M. (2010). Concurrent

endurance and strength training not to failure optimizes performance gains. *Med Sci Sports Exerc*, 42(6), 1191-1199.

Izquierdo, M., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ibanez, J., Kraemer, W. J., Altadill, A., Eslava, J., & Gorostiaga, E. M. (2006a). Effect of loading on unintentional lifting velocity declines during single sets of repetitions to failure during upper and lower extremity muscle actions. *Int J Sports Med*, 27(9), 718-724.

Izquierdo, M., Ibanez, J., Gonzalez-Badillo, J. J., Hakkinen, K., Ratamess, N. A., Kraemer, W. J., French, D. N., Eslava, J., Altadill, A., Asiain, X., & Gorostiaga, E. M. (2006b). Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol (1985)*, 100(5), 1647-1656.

Kobal, R., Pereira, L. A., Zanetti, V., Ramirez-Campillo, R., & Loturco, I. (2017). Effects of unloaded vs. loaded plyometrics on speed and power performance of elite young soccer players. *Front Physiol*, 8, 742.

Komi, P. V. (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech*, 33(10), 1197-1206.

Kotzamanidis, C. (2006). Effect of plyometric training on running performance and vertical jumping in prepubertal boys. *J Strength Cond Res*, 20(2), 441-445.

Kotzamanidis, C., Chatzopoulos, D., Michailidis, C., Papaiakevou, G., & Patikas, D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res*, 19(2), 369-375.

Kraemer, W. J., Duncan, N. D., & Volek, J. S. (1998). Resistance training and elite athletes: adaptations and program considerations. *J Orthop Sports Phys Ther*, 28(2), 110-119.

Kraemer, W. J., Fleck, S. J., & Deschenes, M. (1988). Exercise physiology corner: a review factors in exercise prescription of resistance training. *Strength & Conditioning Journal*, 10(5), 36-42.

- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2004). Fundamentals of resistance training: progression and exercise prescription. *Med Sci Sports Exerc*, 36(4), 674-688.
- Kubo, K., Kawakami, Y., & Fukunaga, T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J Appl Physiol (1985)*, 87(6), 2090-2096.
- Lander, J. E., Hundley, J. R., & Simonton, R. L. (1992). The effectiveness of weight-belts during multiple repetitions of the squat exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 24(5), 603-609.
- Lillegard, W. A., Brown, E. W., Wilson, D. J., Henderson, R., & Lewis, E. (1997). Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: effects of gender and maturity. *Pediatr Rehabil*, 1(3), 147-157.
- Lockie, R. G., Murphy, A. J., Schultz, A. B., Knight, T. J., & Janse de Jonge, X. A. (2012). The effects of different speed training protocols on sprint acceleration kinematics and muscle strength and power in field sport athletes. *J Strength Cond Res*, 26(6), 1539-1550.
- Lopez-Segovia, M., Palao Andres, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2010). Effect of 4 months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. *J Strength Cond Res*, 24(10), 2705-2714.
- Los Arcos, A., Yanci, J., Mendiguchia, J., Salinero, J. J., Brughelli, M., & Castagna, C. (2014). Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, 9(3), 480-488.
- Lloyd, R., Meyers, R., & Oliver, J. (2011). The natural development and trainability of plyometric ability during childhood. *Strength & Conditioning Journal*, 33, 23-32.
- Lloyd, R. S., Cronin, J. B., Faigenbaum, A. D., Haff, G. G., Howard, R., Kraemer, W. J., Micheli, L. J., Myer, G. D., & Oliver, J. L. (2016a). National strength and conditioning association position statement on long-term athletic development. *J Strength Cond Res*, 30(6), 1491-1509.

- Lloyd, R. S., & Oliver, J. L. (2012). The youth physical development model: a new approach to long-term athletic development. *Strength & Conditioning Journal*, 34(3), 61-72.
- Lloyd, R. S., Oliver, J. L., Hughes, M. G., & Williams, C. A. (2012). The effects of 4-weeks of plyometric training on reactive strength index and leg stiffness in male youths. *J Strength Cond Res*, 26(10), 2812-2819.
- Lloyd, R. S., Radnor, J. M., De Ste Croix, M. B., Cronin, J. B., & Oliver, J. L. (2016b). Changes in sprint and jump performances after traditional, plyometric, and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. *J Strength Cond Res*, 30(5), 1239-1247.
- Maio Alves, J. M., Rebelo, A. N., Abrantes, C., & Sampaio, J. (2010). Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *J Strength Cond Res*, 24(4), 936-941.
- Malina, R. M., Bouchard, C., & Bar-Or, O. (2004). *Growth, maturation, and physical activity*: Champaign (Ill.) : Human kinetics.
- Marginson, V., Rowlands, A. V., Gleeson, N. P., & Eston, R. G. (2005). Comparison of the symptoms of exercise-induced muscle damage after an initial and repeated bout of plyometric exercise in men and boys. *J Appl Physiol (1985)*, 99(3), 1174-1181.
- Markovic, G., Dizdar, D., & Jaric, S. (2006). Evaluation of tests of maximum kicking performance. *J Sports Med Phys Fitness*, 46(2), 215-220.
- Markovic, G., & Mikulic, P. (2010). Neuro-musculoskeletal and performance adaptations to lower-extremity plyometric training. *Sports Med*, 40(10), 859-895.
- Marta, C. C., Marinho, D. A., Izquierdo, M., & Marques, M. C. (2014). Differentiating maturational influence on training-induced strength and endurance adaptations in prepubescent children. *Am J Hum Biol*, 26(4), 469-475.

- Martinez-Cava, A., Moran-Navarro, R., Sanchez-Medina, L., Gonzalez-Badillo, J. J., & Pallares, J. G. (2019). Velocity- and power-load relationships in the half, parallel and full back squat. *J Sports Sci*, 37(10), 1088-1096.
- Matavulj, D., Kukolj, M., Ugarkovic, D., Tihanyi, J., & Jaric, S. (2001). Effects of plyometric training on jumping performance in junior basketball players. *J Sports Med Phys Fitness*, 41(2), 159-164.
- Mayhew, J. L., Ball, T. E., Arnold, M. D., & Bowen, J. C. (1992). Relative muscular endurance performance as a predictor of bench press strength in college men and women. *J Strength & Cond Res*, 6(4), 200-206.
- McCarthy, J. P., Wood, D. S., Bolding, M. S., Roy, J. L., & Hunter, G. R. (2012). Potentiation of concentric force and acceleration only occurs early during the stretch-shortening cycle. *J Strength Cond Res*, 26(9), 2345-2355.
- McCormick, B. T., Hannon, J. C., Newton, M., Shultz, B., Detling, N., & Young, W. B. (2016). The effects of frontal- and sagittal-plane plyometrics on change-of-direction speed and power in adolescent female basketball players. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(1), 102-107.
- Meckel, Y., Gefen, Y., Nemet, D., & Eliakim, A. (2012). Influence of short vs. long repetition sprint training on selected fitness components in young soccer players. *J Strength Cond Res*, 26(7), 1845-1851.
- Meylan, C., & Malatesta, D. (2009). Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res*, 23(9), 2605-2613.
- Meylan, C. M., Cronin, J. B., Oliver, J. L., Hopkins, W. G., & Contreras, B. (2014). The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scand J Med Sci Sports*, 24(3), e156-164.
- Mohamad, N. I., Cronin, J. B., & Nosaka, K. K. (2012). Difference in kinematics and kinetics between high- and low-velocity resistance loading equated by volume: implications for hypertrophy training. *J Strength Cond Res*, 26(1), 269-275.

- Mohr, M., Krstrup, P., & Bangsbo, J. (2003). Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci*, 21(7), 519-528.
- Moore, E. W., Hickey, M. S., & Reiser, R. F. (2005). Comparison of two twelve week off-season combined training programs on entry level collegiate soccer players' performance. *J Strength Cond Res*, 19(4), 791-798.
- Moore, S. A., McKay, H. A., Macdonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A. D., Cameron, N., & Brasher, P. M. (2015). Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc*, 47(8), 1755-1764.
- Moran-Navarro, R., Perez, C. E., Mora-Rodriguez, R., de la Cruz-Sanchez, E., Gonzalez-Badillo, J. J., Sanchez-Medina, L., & Pallares, J. G. (2017). Time course of recovery following resistance training leading or not to failure. *Eur J Appl Physiol*, 117(12), 2387-2399.
- Moran, J., Parry, D. A., Lewis, I., Collison, J., Rumpf, M. C., & Sandercock, G. R. H. (2018). Maturation-related adaptations in running speed in response to sprint training in youth soccer players. *J Sci Med Sport*, 21(5), 538-542.
- Moran, J., Sandercock, G., Rumpf, M. C., & Parry, D. A. (2017a). Variation in responses to sprint training in male youth athletes: a meta-analysis. *Int J Sports Med*, 38(1), 1-11.
- Moran, J., Sandercock, G. R. H., Ramírez-Campillo, R., Todd, O., Collison, J., & Parry, D. A. (2017b). Maturation-related effect of low-dose plyometric training on performance in youth hockey players. *Pediatric Exercise Science*, 29(2), 194-202.
- Moran, J. J., Sandercock, G. R., Ramirez-Campillo, R., Meylan, C. M., Collison, J. A., & Parry, D. A. (2017c). Age-related variation in male youth athletes' countermovement jump after plyometric training: a meta-analysis of controlled trials. *J Strength Cond Res*, 31(2), 552-565.
- Moritani, T., & deVries, H. A. (1979). Neural factors versus hypertrophy in the time course of muscle strength gain. *Am J Phys Med*, 58(3), 115-130.

- Morris, F. L., Naughton, G. A., Gibbs, J. L., Carlson, J. S., & Wark, J. D. (1997). Prospective ten-month exercise intervention in premenarcheal girls: positive effects on bone and lean mass. *J Bone Miner Res*, *12*(9), 1453-1462.
- Moss, B. M., Refsnes, P. E., Abildgaard, A., Nicolaysen, K., & Jensen, J. (1997). Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, *75*(3), 193-199.
- Myer, G. D., Faigenbaum, A. D., Ford, K. R., Best, T. M., Bergeron, M. F., & Hewett, T. E. (2011). When to initiate integrative neuromuscular training to reduce sports-related injuries and enhance health in youth? *Curr Sports Med Rep*, *10*(3), 155-166.
- Myer, G. D., Ford, K. R., Palumbo, J. P., & Hewett, T. E. (2005). Neuromuscular training improves performance and lower-extremity biomechanics in female athletes. *J Strength Cond Res*, *19*(1), 51-60.
- Nedelec, M., McCall, A., Carling, C., Legall, F., Berthoin, S., & Dupont, G. (2012). Recovery in soccer: part I - post-match fatigue and time course of recovery. *Sports Med*, *42*(12), 997-1015.
- Nicol, C., Avela, J., & Komi, P. V. (2006). The stretch-shortening cycle : a model to study naturally occurring neuromuscular fatigue. *Sports Med*, *36*(11), 977-999.
- Oliver, J., Lloyd, R., & Rumpf, M. (2013). Developing speed throughout childhood and adolescence: the role of growth, maturation and training. *Strength & Conditioning Journal*, *35*(3), 42-48.
- Oliver, J. L., & Rumpf, M. C. (2014). Speed development in youths. In R. Lloyd & J. L. Oliver (Eds.), *Strength and conditioning for young athletes: Science and application* (pp. 80-93). London/New York: Routledge.
- Otero-Esquina, C., de Hoyo Lora, M., Gonzalo-Skok, O., Dominguez-Cobo, S., & Sanchez, H. (2017). Is strength-training frequency a key factor to develop performance adaptations in young elite soccer players? *Eur J Sport Sci*, *17*(10), 1241-1251.

- Owen, A., Dunlop, G., Rouissi, M., Chtara, M., Paul, D., Zouhal, H., & Wong del, P. (2015). The relationship between lower-limb strength and match-related muscle damage in elite level professional European soccer players. *J Sports Sci*, *33*(20), 2100-2105.
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Gorostiaga, E. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2014). Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med*, *35*(11), 916-924.
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Ribas-Serna, J., Lopez-Lopez, C., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017a). Acute and delayed response to resistance exercise leading or not leading to muscle failure. *Clin Physiol Funct Imaging*, *37*(6), 630-639.
- Pareja-Blanco, F., Rodriguez-Rosell, D., Sanchez-Medina, L., Sanchis-Moysi, J., Dorado, C., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Morales-Alamo, D., Perez-Suarez, I., Calbet, J. A. L., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017b). Effects of velocity loss during resistance training on athletic performance, strength gains and muscle adaptations. *Scand J Med Sci Sports*, *27*(7), 724-735.
- Pareja-Blanco, F., Sanchez-Medina, L., Suarez-Arrones, L., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017c). Effects of Velocity Loss During Resistance Training on Performance in Professional Soccer Players. *Int J Sports Physiol Perform*, *12*(4), 512-519.
- Peek, K., Gatherer, D., Bennett, K. J. M., Fransen, J., & Watsford, M. (2018). Muscle strength characteristics of the hamstrings and quadriceps in players from a high-level youth football Academy. *Res Sports Med*, 1-13.
- Peitz, M., Behringer, M., & Granacher, U. (2018). A systematic review on the effects of resistance and plyometric training on physical fitness in youth- What do comparative studies tell us? *PLoS One*, *13*(10), e0205525.
- Perez-Gomez, J., Olmedillas, H., Delgado-Guerra, S., Ara, I., Vicente-Rodriguez, G., Ortiz, R. A., Chavarren, J., & Calbet, J. A. (2008). Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Appl Physiol Nutr Metab*, *33*(3), 501-510.

- Pfeiffer, R. D., & Francis, R. S. (1986). Effects of strength training on muscle development in prepubescent, pubescent, and postpubescent males. *Phys Sportsmed*, 14(9), 134-143.
- Philippaerts, R. M., Vaeyens, R., Janssens, M., Van Renterghem, B., Matthys, D., Craen, R., Bourgois, J., Vrijens, J., Beunen, G., & Malina, R. M. (2006). The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci*, 24(3), 221-230.
- Potach, D. H., & Chu, D. A. (2000). Plyometric training. In T. R. Baechle & R. W. Earle (Eds.), *Essentials of strength training and conditioning* (pp. 427-470): Champaign, IL: Human Kinetics.
- Radnor, J. M., Oliver, J. L., Waugh, C. M., Myer, G. D., Moore, I. S., & Lloyd, R. S. (2018). The influence of growth and maturation on stretch-shortening cycle function in youth. *Sports Med*, 48(1), 57-71.
- Ramirez-Campillo, R., Álvarez, C., García-Hermoso, A., Ramírez-Vélez, R., Gentil, P., Asadi, A., Chaabene, H., Moran, J., Meylan, C., García-de-Alcaraz, A., Sanchez-Sanchez, J., Nakamura, F. Y., Granacher, U., Kraemer, W., & Izquierdo, M. (2018). Methodological characteristics and future directions for plyometric jump training research: a scoping review. *Sports Med*, 48(5), 1059-1081.
- Ramirez-Campillo, R., Andrade, D. C., & Izquierdo, M. (2013). Effects of plyometric training volume and training surface on explosive strength. *J Strength Cond Res*, 27(10), 2714-2722.
- Ramirez-Campillo, R., Burgos, C. H., Henriquez-Olguin, C., Andrade, D. C., Martinez, C., Alvarez, C., Castro-Sepulveda, M., Marques, M. C., & Izquierdo, M. (2015a). Effect of unilateral, bilateral, and combined plyometric training on explosive and endurance performance of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 29(5), 1317-1328.
- Ramirez-Campillo, R., Gallardo, F., Henriquez-Olguin, C., Meylan, C. M., Martinez, C., Alvarez, C., Caniuqueo, A., Cadore, E. L., & Izquierdo, M. (2015b). Effect of vertical, horizontal, and combined plyometric training on explosive, balance, and

- endurance performance of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 29(7), 1784-1795.
- Ramirez-Campillo, R., Meylan, C., Alvarez, C., Henriquez-Olguin, C., Martinez, C., Canas-Jamett, R., Andrade, D. C., & Izquierdo, M. (2014). Effects of in-season low-volume high-intensity plyometric training on explosive actions and endurance of young soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(5), 1335-1342.
- Rampinini, E., Bishop, D., Marcora, S. M., Ferrari Bravo, D., Sassi, R., & Impellizzeri, F. M. (2007). Validity of simple field tests as indicators of match-related physical performance in top-level professional soccer players. *Int J Sports Med*, 28(3), 228-235.
- Ramsay, J. A., Blimkie, C. J., Smith, K., Garner, S., MacDougall, J. D., & Sale, D. G. (1990). Strength training effects in prepubescent boys. *Med Sci Sports Exerc*, 22(5), 605-614.
- Reilly, T., Bangsbo, J., & Franks, A. (2000). Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci*, 18(9), 669-683.
- Reilly, T., & Gilbourne, D. (2003). Science and football: a review of applied research in the football codes. *J Sports Sci*, 21(9), 693-705.
- Rodriguez-Rosell, D. (2017). *La velocidad de ejecución como variable para el control y la dosificación del entrenamiento y como factor determinante de las adaptaciones producidas por el entrenamiento de fuerza*. Universidad Pablo de Olavide.
- Rodriguez-Rosell, D., Franco-Marquez, F., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., Yanez-Garcia, J. M., Gonzalez-Suarez, J. M., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2016). Effects of 6 weeks resistance training combined with plyometric and speed exercises on physical performance of pre-peak-height-velocity soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, 11(2), 240-246.
- Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Aagaard, P., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Physiological and methodological aspects of rate of force development assessment in human skeletal muscle. *Clin Physiol Funct Imaging*, 38(5), 743-762.

- Rodriguez-Rosell, D., Yanez-Garcia, J. M., Torres-Torrelo, J., Mora-Custodio, R., Marques, M. C., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2018). Effort index as a novel variable for monitoring the level of effort during resistance exercises. *J Strength Cond Res*, 32(8), 2139-2153.
- Romagnoli, M., Sanchis-Gomar, F., Alis, R., Risso-Ballester, J., Bosio, A., Graziani, R. L., & Rampinini, E. (2016). Changes in muscle damage, inflammation, and fatigue-related parameters in young elite soccer players after a match. *J Sports Med Phys Fitness*, 56(10), 1198-1205.
- Rønnestad, B. R., Hansen, E. A., & Raastad, T. (2012). High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol*, 112(4), 1457-1466.
- Rønnestad, B. R., Kvamme, N. H., Sunde, A., & Raastad, T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res*, 22(3), 773-780.
- Rosas, F., Ramirez-Campillo, R., Diaz, D., Abad-Colil, F., Martinez-Salazar, C., Caniuqueo, A., Canas-Jamet, R., Loturco, I., Nakamura, F. Y., McKenzie, C., Gonzalez-Rivera, J., Sanchez-Sanchez, J., & Izquierdo, M. (2016). Jump training in youth soccer players: effects of haltere type handheld loading. *Int J Sports Med*, 37(13), 1060-1065.
- Rowland, T. W. (2005). *Children's exercise physiology (2nd ed.)*: Champaign, IL: Human Kinetics.
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Mohamad, I. N., Mohamad, S., Oliver, J. L., & Hughes, M. G. (2015). The effect of resisted sprint training on maximum sprint kinetics and kinematics in youth. *Eur J Sport Sci*, 15(5), 374-381.
- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Oliver, J. L., & Hughes, M. (2011). Assessing youth sprint ability-methodological issues, reliability and performance data. *Pediatr Exerc Sci*, 23(4), 442-467.

- Rumpf, M. C., Cronin, J. B., Pinder, S. D., Oliver, J., & Hughes, M. (2012). Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatr Exerc Sci*, 24(2), 170-186.
- Sanchez-Medina, L., Garcia-Pallares, J., Perez, C., Fernandez, J., & González Badillo, J. J. (2011). Estimation of relative load from mean velocity in the full squat exercise. *16th Annual Congress of the European College of Sports Science (ECSS) Liverpool, UK, July 6-9, Book of Abstracts. Editors: Tim Cable, Keith George. ISBN: 978-09568903-0-6.*
- Sanchez-Medina, L., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2011). Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc*, 43(9), 1725-1734.
- Sanchez-Medina, L., Gonzalez-Badillo, J. J., Perez, C. E., & Pallares, J. G. (2014). Velocity- and power-load relationships of the bench pull vs. bench press exercises. *Int J Sports Med*, 35(3), 209-216.
- Sánchez-Medina, L., Pallarés, J. G., Pérez, C. E., Morán-Navarro, R., & González-Badillo, J. J. (2017). Estimation of relative load from bar velocity in the full back squat exercise. *Sports Med Int Open*, 01(02), E80-E88.
- Sanchez-Moreno, M., Rodriguez-Rosell, D., Pareja-Blanco, F., Mora-Custodio, R., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Movement velocity as indicator of relative intensity and level of effort attained during the set in pull-up Exercise. *Int J Sports Physiol Perform*, 12(10), 1378-1384.
- Sander, A., Keiner, M., Wirth, K., & Schmidtbleicher, D. (2013). Influence of a 2-year strength training programme on power performance in elite youth soccer players. *Eur J Sport Sci*, 13(5), 445-451.
- Schenau, G. J. v. I., Bobbert, M. F., & Haan, A. d. (1997). Does elastic energy enhance work and efficiency in the stretch-shortening cycle? *Journal of Applied Biomechanics*, 13(4), 389-415.

- Seitz, L. B., Reyes, A., Tran, T. T., Saez de Villarreal, E., & Haff, G. G. (2014). Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: a systematic review with meta-analysis. *Sports Med*, 44(12), 1693-1702.
- Shalfawi, S., Ingebrigtsen, J., Dillern, T., Tønnessen, E., Kristoffer Delp, T., & Enoksen, E. (2012). The effect of 40 m repeated sprint training on physical performance in young elite male soccer players. *Serb J Sports Sci*, 6(3), 111-116.
- Sherar, L. B., Mirwald, R. L., Baxter-Jones, A. D., & Thomis, M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *J Pediatr*, 147(4), 508-514.
- Silva, J. R., Magalhaes, J., Ascensao, A., Seabra, A. F., & Rebelo, A. N. (2013). Training status and match activity of professional soccer players throughout a season. *J Strength Cond Res*, 27(1), 20-30.
- Silva, J. R., Nassis, G. P., & Rebelo, A. (2015). Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports Med Open*, 1(1), 17.
- Silva, J. R., Rebelo, A., Marques, F., Pereira, L., Seabra, A., Ascensao, A., & Magalhaes, J. (2014). Biochemical impact of soccer: an analysis of hormonal, muscle damage, and redox markers during the season. *Appl Physiol Nutr Metab*, 39(4), 432-438.
- Silva, J. R., Rumpf, M. C., Hertzog, M., Castagna, C., Farooq, A., Girard, O., & Hader, K. (2018). Acute and residual soccer match-related fatigue: a systematic review and meta-analysis. *Sports Med*, 48(3), 539-583.
- Skurvydas, A., & Brazaitis, M. (2010). Plyometric training does not affect central and peripheral muscle fatigue differently in prepubertal girls and boys. *Pediatr Exerc Sci*, 22(4), 547-556.
- Smith, A. J. A., and L. Micheli. (1993). Current comment from the American College of Sports Medicine. August 1993--"The prevention of sport injuries of children and adolescents". *Med Sci Sports Exerc*, 25(8 Suppl), 1-7.

- Sohnlein, Q., Muller, E., & Stoggl, T. L. (2014). The effect of 16-week plyometric training on explosive actions in early to mid-puberty elite soccer players. *J Strength Cond Res*, 28(8), 2105-2114.
- Spiering, B. A., Kraemer, W. J., Anderson, J. M., Armstrong, L. E., Nindl, B. C., Volek, J. S., & Maresh, C. M. (2008). Resistance exercise biology: manipulation of resistance exercise programme variables determines the responses of cellular and molecular signalling pathways. *Sports Med*, 38(7), 527-540.
- Steele, J., Fisher, J. P., Assuncao, A. R., Bottaro, M., & Gentil, P. (2017). The role of volume-load in strength and absolute endurance adaptations in adolescent's performing high- or low-load resistance training. *Appl Physiol Nutr Metab*, 42(2), 193-201.
- Stolen, T., Chamari, K., Castagna, C., & Wisloff, U. (2005). Physiology of soccer: an update. *Sports Med*, 35(6), 501-536.
- Stroyer, J., Hansen, L., & Klausen, K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc*, 36(1), 168-174.
- Styles, W. J., Matthews, M. J., & Comfort, P. (2016). Effects of strength training on squat and sprint performance in soccer players. *J Strength Cond Res*, 30(6), 1534-1539.
- Thomas, K., French, D., & Hayes, P. R. (2009). The effect of two plyometric training techniques on muscular power and agility in youth soccer players. *J Strength Cond Res*, 23(1), 332-335.
- Tonnessen, E., Shalfawi, S. A., Haugen, T., & Enoksen, E. (2011). The effect of 40-m repeated sprint training on maximum sprinting speed, repeated sprint speed endurance, vertical jump, and aerobic capacity in young elite male soccer players. *J Strength Cond Res*, 25(9), 2364-2370.
- Torres-Torrelo, J., Rodriguez-Rosell, D., & Gonzalez-Badillo, J. J. (2017). Light-load maximal lifting velocity full squat training program improves important physical and skill characteristics in futsal players. *J Sports Sci*, 35(10), 967-975.

- Van Cutsem, M., Duchateau, J., & Hainaut, K. (1998). Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol*, *513* (Pt 1), 295-305.
- Venturelli, M., Bishop, D., & Pettene, L. (2008). Sprint training in preadolescent soccer players. *Int J Sports Physiol Perform*, *3*(4), 558-562.
- Vrijens, J. (1978). Muscle development in the pre- and post-pubescent age. *Med Sport Sci*, *11*, 152-158.
- Walshe, A. D., Wilson, G. J., & Ettema, G. J. (1998). Stretch-shorten cycle compared with isometric preload: contributions to enhanced muscular performance. *J Appl Physiol* (1985), *84*(1), 97-106.
- Westcott, W. L., Tolken, J., & Wessner, B. (1995). School-based conditioning programs for physically unfit children. *Strength & Conditioning Journal*, *17*(2), 5-9.
- Wilson, G. J., Newton, R. U., Murphy, A. J., & Humphries, B. J. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*, *25*(11), 1279-1286.
- Wisloff, U., Castagna, C., Helgerud, J., Jones, R., & Hoff, J. (2004). Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med*, *38*(3), 285-288.
- Wisloff, U., Helgerud, J., & Hoff, J. (1998). Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc*, *30*(3), 462-467.
- Witzke, K. A., & Snow, C. M. (2000). Effects of plyometric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc*, *32*(6), 1051-1057.
- Wong, P. L., Chamari, K., & Wisloff, U. (2010). Effects of 12-week on-field combined strength and power training on physical performance among U-14 young soccer players. *J Strength Cond Res*, *24*(3), 644-652.
- Zaricznyj, B., Shattuck, L. J., Mast, T. A., Robertson, R. V., & D'Elia, G. (1980). Sports-related injuries in school-aged children. *Am J Sports Med*, *8*(5), 318-324.

Relación de Tablas

N. ° de Tabla	Título	Página
1	Características antropométricas de los participantes del grupo control y grupo experimental	
2	Programa de entrenamiento de fuerza del Estudio I	
3	Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo en el Estudio I	
4	Características físicas de los participantes en el Estudio II	
5	Programa de entrenamiento de fuerza del Estudio II	
6	Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo en el Estudio II	
7	Relación entre los cambios relativos individuales de las diferentes variables de rendimiento y porcentajes de varianza explicada entre los cambios de las variables	
8	Características físicas de los participantes en el Estudio III	
9	Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo sub-13 (GE vs GC) en el Estudio III	
10	Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo sub-15 (GE vs GC) en el Estudio III	
11	Cambios en las variables de rendimiento neuromuscular seleccionadas del pre- al postentrenamiento para cada grupo sub-17 (GE vs GC) en el Estudio III	
12	Cambios en las variables de rendimiento seleccionadas del pre- al post-test entre los grupos experimentales en el Estudio III	
13	Diferencias estandarizadas (TE) entre grupos y probabilidades de que el efecto sea beneficioso, trivial o perjudicial	

Relación de Figuras

N. ° de Figura	Título	Página
1	Diferencias en las puntuaciones (IC: 90%) para los cambios del pre- al post-test en el T ₁₀ , T ₁₀₋₂₀ y T ₂₀ , CMJ, 1RM _{est} , AV ante las cargas comunes en el pre- y post-test y VMP _{20,30,40 y 50} cuando comparamos el GE y el GC. Las áreas grises representan diferencias insignificantes. Además, la probabilidad de los que efectos sean relevantes a efectos prácticos a favor del GE comparado con el GC se muestra en los recuadros.	
2	Curva Carga-Velocidad obtenida en el ejercicio de sentadilla completa para el grupo control (A) y el grupo de entrenamiento de fuerza (B) antes y después del periodo de 6 semanas de entrenamiento	
3	Relaciones entre los cambios relativos individuales en CMJ y los cambios relativos individuales en el T ₁₀ (A), T ₂₀ (B) y AV ante las cargas comunes en el pre- y post-test (C) en ambos grupos después del periodo de 6 semanas de entrenamiento.	
4	Máxima carga relativa utilizada en las 3 últimas sesiones para cada jugador del grupo entrenamiento de fuerza. Los valores del eje-X representan valores nominales	
5	Diferencias en las puntuaciones (IC: 90%) para los cambios del pre- al post-test en eT ₁₀ , T ₁₀₋₂₀ y T ₂₀ , CMJ, 1RM _{est} , AV ante las cargas comunes en el pre- y post-test y VMP _{20,30,40 y 50} cuando comparamos el GE y el GC	
6	Cambios relativos en el rendimiento en <i>sprint</i> (T ₁₀ , T ₁₀₋₂₀ y T ₂₀) después del periodo de 6 semanas de entrenamiento en los grupos experimentales sub-13, sub-15 y sub-17	
7	Cambios relativos en los resultados del test de salto con contramovimiento (CMJ) después del periodo de 6 semanas de entrenamiento en los grupos experimentales sub-13, sub-15 y sub-17	
8	Cambios relativos en el rendimiento en fuerza después del periodo de 6 semanas de entrenamiento en los grupos experimentales sub-13, sub-15 y sub-17	

Glosario de Acrónimos

Acrónimo	Significado
1RM	Una repetición máxima
1RM_{est}	Una repetición máxima estimada
Δ	Cambio del pre al post-test
%1RM	Intensidad relativa
ANOVA	Análisis de la varianza
AV	Promedio de la velocidad media propulsiva con las cargas comunes
CCI	Coefficiente de correlación intraclase
CEA	Ciclo estiramiento-acortamiento
CK	Creatina Quinasa
CMJ	Salto vertical con contramovimiento, <i>countermovement jump</i>
CV	Coefficiente de variación
DT	Desviación típica
GC	Grupo control
GE	Grupo experimental
IC	Intervalo de confianza
Mid	Mitad de-
MO	Años hasta el pico de velocidad de crecimiento
PAS	Predicción de estatura adulta
PC	Peso Corporal
PHV	Pico de velocidad de crecimiento, del inglés Peak Height Velocity
Post	Después de-
Pre	Antes de-
r	Coefficiente de correlación de Pearson
RFD	Producción de fuerza por unidad de tiempo
ROM	Amplitud de movimiento
RX	Barra transmisora
SJ	Squat jump

Sub-13	Menores de 13 años
Sub-14	Menores de 14 años
Sub-15	Menores de 15 años
Sub-16	Menores de 16 años
Sub-17	Menores de 17 años
Sub-18	Menores de 18 años
Sub-19	Menores de 19 años
Sub-21	Menores de 21 años
T₁₀	Tiempo en 10 metros
T₁₀₋₂₀	Tiempo entre 10 y 20 metros
T₂₀	Tiempo en 20 metros
TE	Tamaño del efecto
TX	Barra receptora
VMP	Velocidad media propulsiva
VMP₂₀	Velocidad media propulsiva obtenida ante la carga de 20kg
VMP₃₀	Velocidad media propulsiva obtenida ante la carga de 30kg
VMP₄₀	Velocidad media propulsiva obtenida ante la carga de 40kg
VMP₅₀	Velocidad media propulsiva obtenida ante la carga de 50kg
XRM	Test de repeticiones máximas

ANEXO I

DECLARACIÓN DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Yo, D. _____, mayor de edad, con D.N.I. _____, domicilio en _____ y N.º de Teléfono _____

DECLARO:

Que he sido informado por Felipe Franco Márquez sobre las posibles consecuencias de la realización de los test físicos de velocidad, saltos y sentadilla completa, así como de los riesgos potenciales y molestias que podrían derivarse de los mismos, a la vez que he podido realizar todas las preguntas que he considerado necesarias, respondiéndome a todas ellas de manera comprensible para mí.

También me ha informado de mi derecho a rechazar el tratamiento o revocar este consentimiento.

Por lo tanto, CONSIENTO en someterme a los protocolos indicados.

Si mi participación puede ser de utilidad científica y para tal fin se publican artículos científicos, autorizo la utilización de los datos reportados durante mis pruebas siempre y cuando se me garantice el más absoluto respeto a mi intimidad y anonimato.

Firma del sujeto

Firma del responsable del estudio

En Sevilla, a ____ de _____ de 20 ____

PUBLICACIONES DERIVADAS DE LA TESIS

Effects of Combined Resistance Training and Plyometrics on Physical Performance in Young Soccer Players

Authors

F. Franco-Márquez, D. Rodríguez-Rosell, J. M. González-Suárez, F. Pareja-Blanco, R. Mora-Custodio, J. M. Yañez-García, J. J. González-Badillo

Affiliation

Centro de Investigación en Rendimiento Físico y Deportivo, Universidad Pablo de Olavide, Seville, Spain

Key words

- under-15 soccer players
- full squat
- sprint
- strength
- jump ability
- velocity-based resistance training

Abstract

▼ This study aimed to determine the effects of combined resistance training and plyometrics on physical performance in under-15 soccer players. One team (n=20) followed a 6-week resistance training program combined with plyometrics plus a soccer training program (STG), whereas another team (n=18) followed only the soccer training (CG). Strength training consisted of full squats with low load (45–60% 1RM) and low-volume (2–3 sets and 4–8 repetitions per set) combined with jumps and sprints twice a week. Sprint time in 10 and 20m (T_{10} , T_{20} , T_{10-20}), CMJ height, estimated one-repetition maximum

($1RM_{est}$), average velocity attained against all loads common to pre- and post-tests (AV) and velocity developed against different absolute loads ($MPV_{20, 30, 40}$ and 50) in full squat were selected as testing variables to evaluate the effects of the training program. STG experienced greater gains ($P < 0.05$) in T_{20} , CMJ, $1RM_{est}$, AV and $MPV_{20, 30, 40}$ and 50 than CG. In addition, STG showed likely greater effects in T_{10} and T_{10-20} compared to CG. These results indicate that only 6 weeks of resistance training combined with plyometrics in addition to soccer training produce greater gains in physical performance than typical soccer training alone in young soccer players.

Introduction

▼ In modern soccer, having a well-developed physical fitness is considered an essential prerequisite to yield high performance during a match [18,42]. Many studies have reported that endurance capacity is an important feature to obtain high performance in soccer players [42,43]. However, although high-speed actions only contribute to ~1–11% of the total distance covered [42], they constitute the most decisive events of the game [18]. In fact, most goals are preceded by a straight sprint, jump or change of direction by either the scoring or the assisting player [7]. Such actions require high strength generation by the muscles of the lower limbs [26]. Therefore, within the aerobic context of the match, strength is also one basic quality that influences game performance [42].

The neuromuscular system's ability to produce maximal leg strength distinguishes high level soccer players from those of lower levels [43]. In addition, significant relationships have been observed between lower limb strength and sprint time, vertical jumps and changes of direc-

tion [4]. Moreover, a recent study has shown that lower limb strength was related to a higher ability to maintain performance during the game [41]. Thus, by a suitable strength training (ST) that increases the available force of muscle contraction in the appropriate muscle groups, acceleration and speed may improve in skills critical to soccer such as turning, sprinting, jumping and changing pace [42].

Short- and long-term ST have been shown to improve maximal strength of lower limb muscles with concurrent enhancement of jumping ability, rate of force development, intermittent endurance performance and sprint times in adult soccer players [17,18]. However, little information is available in the literature concerning young soccer players, although ST is deemed to be safe and effective to improve muscular strength and motor skill performance in children and adolescent athletes [14]. Thus, using appropriate training stimuli linked to natural growth and maturation processes could accelerate and enhance physical development [10]. However, there is a lack of empirical knowledge on the effects and optimization of training during

accepted after revision
March 06, 2015

Bibliography

DOI <http://dx.doi.org/10.1055/s-0035-1548890>
Published online:
July 16, 2015
Int J Sports Med 2015; 36:
906–914 © Georg Thieme
Verlag KG Stuttgart · New York
ISSN 0172-4622

Correspondence

David Rodríguez-Rosell
Faculty of Sport
Pablo de Olavide University
Ctra. de Utrera, km 1
41013 Seville
Spain
Tel.: +34/653/121 522
Fax: +34/954/348 659
davidrodriguezrosell@gmail.com

Group	Age (years)	Mass (kg)	Height (m)	BMI (kg·m ⁻²)	MO	PAS (%)
CG	14.7±0.5	63.5±6.9	1.70±0.06	21.9±1.7	1.00±0.48	95.3±2.0
STG	14.7±0.5	60.3±6.6	1.71±0.05	20.7±1.6	1.04±0.45	95.4±1.7

CG: Control group; STG: Strength training group; BMI: Body mass index; MO: Maturity offset; PAS: Predicted adult stature

Table 1 Participant's physical characteristics (mean ± SD).

growth and maturation in young soccer players. Previous studies conducted with young soccer players have used heavy-load resistance training (RT) [5,6,25] or a combination of heavy-load RT and plyometrics [8,21,29] in order to improve strength and power characteristics. These investigations have demonstrated the positive effects that result from the application of these methods, reporting significant increases in vertical jump and sprint time [5,6,21,25]. However, RT performed with heavy loads and repetitions to muscular failure or close to it seems to be associated with a high fatigue degree [38], which may hamper the effective ball practice during subsequent technical-tactical field training [1] and may have a greater risk of injury. Thus, what type of ST produces the greatest gains with the lowest possible degree of fatigue in order to produce the minimal interference with the specific soccer training in young players remains unclear.

Several authors have suggested that it is not necessary to cause excessive fatigue to improve strength performance [11,20] and that lifting velocity is more or at least as important as the magnitude of the load *per se* [31]. Therefore, the combination of moderate loads and few repetitions in the set, lifting the load at maximal voluntary velocity, could be a sufficient stimulus to induce relevant neuromuscular adaptations in young soccer players without previous experience in RT. Despite this, few studies [11,13,23,24] have used a combined RT with plyometrics in which weight lifting exercises were performed with moderate loads and low volume. These studies [11,13,23,24] were conducted with adolescent soccer players (18–20 years of age) and training intervention resulted in significant improvements in jump height, whereas the effects on acceleration capacity were unclear. Furthermore, in 2 of these investigations [13,24], the training load (% of 1RM) of weight lifting exercise was not specified, which may hinder the interpretation of the results.

To the best of our knowledge, only 2 previous studies [11,23] have used lifting velocity as a reference to prescribe RT. This is possible because there is a very close relationship ($R^2=0.98$) between movement velocity and relative load (%1RM) [12]. This novel evaluation method based on lifting velocity enables the assessment of the athlete's strength without the need to perform a one-repetition maximum test (1RM) or maximum repetitions test (XRM). Thus, in the study performed by López-Segovia et al. [23] the training load in the squat exercise ranged from $1.20\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~45% 1RM) to $0.80\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (~70% 1RM) and the training volume was low (4–8 repetitions per set). However, no significant improvements in either jump, sprint or strength performances were observed after the training period. These authors [23] suggested that the high-volume of endurance training performed during the intervention might have attenuated the effects of ST. On the other hand, a recent study performed by González-Badillo et al. [11] showed that 26 weeks of a combined velocity-based RT and plyometrics in young soccer players resulted in the same or even greater gains in leg strength, jumping and sprinting than 5 years (from 15–16 to 20–21 years of age) of only typical soccer training. However, several studies have indicated that improvements in strength and power are related to maturity status and the baseline strength levels

[10,27]. Therefore, despite these findings, there is no information concerning the effectiveness of short-term RT combined with plyometrics on physical performance in young soccer players. In light of the aforementioned considerations, the main aim of the present study was to analyze the effect of adding to the typically technical-tactical soccer training a RT program with low loads and low number of repetitions per set combined with jumps and sprints on lower limb muscle strength, jumping ability and sprint performance among post-pubertal (14–15 years) soccer players during the first 6 weeks of season phase. We hypothesize that this type of strength training would enhance muscular strength and other factors critical to soccer performance with no concomitant interference on technical-tactical soccer training.

Materials and Methods

▼ Participants

Forty-four male, young male soccer players belonging to 2 different teams voluntarily participated in this study. A team was assigned to perform a combination of RT and plyometric exercises (STG; $n=22$), while the other team merely conducted typical soccer training (CG; $n=22$). 6 players were excluded from the study because they were injured or were absent from the post-testing session. As a result, the training program was completed by 20 and 18 players for the STG and the CG, respectively. Participant characteristics are displayed in **Table 1**. Both teams had a similar age, weight, maturity offset and predicted adult stature, and they competed in the same group of the under-15 Spanish first division. All participants had trained for more than 5 years and were injury free for at least 6 months before participation in this study. Neither group had any experience in strength training. Coach and parents were informed about the different tests procedures performed during the study. Parental/guardian consent for all players involved in this investigation was obtained. The present investigation met the ethical standards of this journal [15] and was approved by the Research Ethics Committee of Pablo de Olavide University.

Experimental procedure

In this study a quasi-experimental design was undertaken to examine the effect of a resistance training program with low loads combined with plyometrics exercises on the physical performance of young soccer players. Two U-15 soccer teams (STG and CG) were used to examine this question over the course of 6 weeks (September–October) of training and soccer competition. The STG performed 2 RT sessions per week along with the regular soccer training, while CG continued the typical soccer training alone. Both groups performed 4 sessions of soccer training per week and played a 90-min match. Each training session lasted about 2 h and comprised various skill activities at different intensities, small-sided games, and finally 30 min of continuous play or high-intensity interval training. Except for strength training, the training contents were similar for all players of both STG and CG. All participants were tested before (Pre) and after

(Post) the 6-week experimental period using identical protocols: 1) 20-m all-out running sprints; 2) countermovement vertical jumps (CMJ); and 3) a progressive isoinertial loading test for the individual load-velocity relationship in full squat (FS) exercise. In the preceding 2 weeks of this study, 4 preliminary familiarization sessions were undertaken with the purpose of emphasizing proper execution technique in the FS exercise as well as CMJ.

Testing procedures

Anthropometric measurements were taken prior to the physical testing. The standing height (cm) and body mass (kg) were measured and the body mass index (BMI) was calculated. The maturity status of the participants was determined using years from/to peak height velocity (PHV) (i.e., maturity offset = $-7.999994 + (0.0036124 \times \text{age} \times \text{height})$ [30] as well as the percentage of predicted adult stature (PAS) [40]. Neuromuscular performance was assessed at pre- and post-training using a battery of tests performed in a single session in a fixed sequence as described below. At least 2 days before the test time, there were no fatiguing training sessions. Testing sessions were performed at the same venue and time of day (± 1 h) for each participant under the same environmental conditions (21°C and 60% humidity). Strong verbal encouragement was provided during all tests to motivate participants to give a maximal effort.

Running sprints: Two 20-m sprints, separated by a 3-min rest, were performed in an indoor running track. Photocell timing gates were placed at 0, 10 and 20 m so that the times to cover 0–10 m (T_{10}), 0–20 m (T_{20}) and 10–20 m (T_{10-20}) could be determined. A standing start with the lead-off foot placed 1 m behind the first timing gate was used. Participants were required to give an all-out maximal effort in each sprint and the best of both trials was kept for analysis. The same warm-up protocol, which incorporated several sets of progressively faster 30-m running accelerations, was followed in the pre- and post-tests. Sprint times were measured using photocells (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italy). Test-retest reliability for T_{10} , T_{20} and T_{10-20} as measured by the coefficient of variation (CV) was 2.55%, 1.67% and 1.40%, respectively. The intraclass correlation coefficients (ICC) were 0.78 (95% confidence interval, CI: 0.59–0.89) for T_{10} , 0.90 (95% CI: 0.82–0.95) for T_{20} and 0.96 (95% CI: 0.92–0.98) for T_{10-20} .

Vertical jump: Each player performed 5 maximal jumps with their hands on their hips separated by 45 s rests. The highest and lowest values were discarded, and the resulting mean value was kept for analysis. CMJ height was determined using an infrared timing system (Optojump, Microgate, Bolzano, Italy). The CV for test-retest reliability was 2.14% and the ICC was 0.99 (95% CI: 0.98–1.00).

Isoinertial squat loading test: The assessment consisted of an isoinertial test with increasing loads using the full squat exercise performed in a Smith machine (Multipower Fitness Line; Peroga, Murcia, Spain) with no counterweight mechanism. A detailed description of the testing procedures used in this study has recently been reported elsewhere [11,38]. Initial load of test was set at 20 kg and was progressively increased in 10 kg increments until the attained mean propulsive velocity (MPV) was $< 1.10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. Thereafter, the load was individually adjusted with smaller increments (5 down to 2 kg) so that the movement

velocity was $\sim 1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (range: $0.96\text{--}1.04 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$). This value was chosen for several reasons: a) there is a strong relationship between the load that elicited a bar velocity of $\sim 1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($V_{1\text{LOAD}}$) and 1RM in FS exercise [37]; b) maximal load used in FS exercise during RT was the load that elicited a $\sim 1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($\sim 56\%$ of 1RM [37]), thereby, when this load was obtained, we had enough information for a training prescription; c) heavier loads may also predispose to a higher risk of ventral flexion of the lumbar spine while squatting [22]; d) this load has already been used as a reference to prescribe RT [11]. The players performed 3 repetitions with each load. Only the best repetition at each load, according to the criteria of fastest MPV [39], was considered for subsequent analysis. The participants were required to always execute the concentric phase of each repetition at maximal intended velocity. Three minutes of recovery were taken between each series of repetitions. Feedback based on eccentric distance traveled and concentric velocity was provided during every repetition. This was accomplished by using a linear velocity transducer (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spain) that registered the kinematics of every repetition and whose software provided visual and auditory feedback in real time. Characteristics and reliability of this system have recently been reported elsewhere [38]. Warm-up consisted of 5 min of joint mobilization exercises, followed by 2 sets of 8 and 6 repetitions (separated by 3-min rests) with loads of 10 and 20 kg, respectively. The exact same warm-up and progression of absolute loads were repeated in the post-test for each participant. The following variables derived from this test were used for analysis: a) estimated 1RM (1RM_{est}) calculated from the MPV with the last load (kg) of the test, as follows: $100 \times \text{LOAD} / -2.185 \times \text{MPV}^2 - 61.53 \times \text{MPV} + 122.5$ [37]; b) average MPV attained against all absolute loads common to pre- and post-tests (AV) [31]; c) MPV attained against 20 kg (MPV_{20}), 30 kg (MPV_{30}), 40 kg (MPV_{40}) and 50 kg (MPV_{50}).

Strength training program

The strength training program in the STG group consisted of 2 times per week, on non-consecutive days, for a period of 6 weeks. These ST sessions lasted ~ 35 min. The main exercises of the training program were full squats, jumps, sprints, step phase triple jumps and changes of direction. **Table 2** shows in detail the characteristics of the ST program. The loads used by each player were assigned according to the movement velocity of the Smith machine bar obtained in the initial isoinertial squat loading test. Thus, relative intensity of the squat exercise progressively increased from $\sim 1.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($\sim 45\%$ 1RM) to $\sim 1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ($\sim 58\%$ 1RM). RT was combined with displacements with changes of direction without extra loads in series of 10 s, series of 6–12 executions of the step phase of the triple jump, and lineal sprint of 20 m. Approximately 3-min rest periods were allowed between each set and each exercise, except for the step phase triple jump where the rest period was around 1–2 min. The participants were instructed to perform all exercises as fast as possible in order to obtain the highest possible gains [31]. At least 2 trained researchers supervised each workout session and recorded the compliance and individual workout data during each training session. In all sessions, warm-up consisted of 5 min of jogging and 3 min of joint mobilization exercises. Then, 2 sets of 8 and 6 repetitions (separated by 3-min rests) of FS with lower loads at maximal scheduled load in each session were performed.

Table 2 Strength training program.

Exercises	Sessions											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
FS (S×R) (m·s ⁻¹)	2×8 (1.20)	3×8 (1.20)	3×8 (1.20)	3×6 (1.12)	3×6 (1.12)	3×8 (1.12)	2×6 (1.06)	3×6 (1.06)	3×6 (1.06)	2×4 (1.00)	3×4 (1.00)	3×4 (1.00)
CMJ	6×8	3×5	3×5	3×5	3×5	3×5	3×5	3×5	3×5	3×5	3×5	3×5
SPTJ (S×I)	3×10s	6×6	6×8	6×6	6×10	6×6	6×10	6×6	6×12	6×6	6×12	6×6
COD (R×T)	3×10s	3×10s	3×10s	4×10s	4×10s	4×10s	4×10s	5×10s	5×10s	3×10s	3×10s	3×10s
Sprint (R×D)	3×20m	3×20m	3×20m	4×20m	4×20m	3×20m	3×20m	4×20m	4×20m	4×20m	4×20m	3×20m

FS: full squat; CMJ: countermovement jump; SPTJ: step phase triple jump; COD: changes of direction; S×R: sets × repetitions; S×I: sets × repetitions; R×D: repetitions × distance

Statistical analysis

The values are expressed as mean ± standard deviation (SD). The reliability was assessed by intraclass correlation coefficients and coefficients of variation. Homogeneity of variance across groups (CG vs. STG) was verified using the Levene's test, whereas the normality of distribution of the data was examined with the Kolmogorov-Smirnov test. A 2 (group: CG, STG) × 2 (time: Pre, Post) repeated measures analysis of variances (ANOVA) was calculated for each parameter. Bonferroni post-hoc tests were used when the interaction was significant. Effect sizes (ES) were calculated using Hedge's g [16] in order to estimate the magnitude of the training effect on the selected neuromuscular variables within each group, as follows: $g = (\text{mean STG} - \text{mean CG}) / \text{combined SD}$. The standardized difference for changes between the STG and CG in each dependent variable was calculated on log-transformed values using the pooled pre-training SD [19]. Probabilities were also calculated to establish whether the true (unknown) differences were lower, similar or higher than the smallest worthwhile difference or change (0.2 multiplied by the between-subject standard deviation [19]). Quantitative chances of higher or lower differences were evaluated qualitatively as follows: < 1%, almost certainly not; 1–5%, very unlikely; 5–25%, unlikely; 25–75%, possible; 75–95%, likely; 95–99%, very likely; > 99%, almost certain. If the chances of having higher or lower values than the smallest worthwhile difference were both > 5%, the true difference was assessed as unclear. Pearson's correlation coefficients were calculated to establish the respective relationships between the changes of all measured variables. Inferential statistics based on interpretation of magnitude of effects were calculated using a purpose-built spreadsheet for the analysis of controlled trials [Hopkins WG. Analysis of a pre-post controlled trial (December, 2006). On the Internet: <http://www.sportsci.org>; (retrieved 10 February, 2012)]. The statistical analyses were performed using SPSS software version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL). Statistical significance was established at the P < 0.05 level.

Results

Significant differences between groups were found at baseline for 1RM_{est}, AV, MPV₂₀, MPV₃₀ and MPV₅₀ in favor of CG. Compliance with the ST program was 95.7% in all sessions scheduled for STG. Mean values, percent changes from pre- to post-training and ES for all variables analyzed are reported in Table 3.

Vertical jump and sprint time: Significant time × group interactions in favor of STG were observed for T₂₀ (P < 0.04) and CMJ (P < 0.001), whereas there was no time × group interaction for T₁₀ (P = 0.25) and T₁₀₋₂₀ (P = 0.18). Training resulted in a significant improvement (P < 0.05) in T₁₀₋₂₀, T₂₀ and CMJ, and a trend toward a significant improvement in T₁₀ (P = 0.083) for STG. No significant pre-post changes were found in either CMJ or sprint time performance for CG. Greater intra-group ES were found for STG when compared to CG in all variables. Furthermore, STG presented *almost certainly* greater effect on CMJ (with chance for greater/similar/lower scores than CG of 100/0/0 for STG) than CG, whereas the beneficial effects of STG compared to CG on T₁₀, T₁₀₋₂₀ and T₂₀ were *possible* (66/32/3), *possible* (58/41/1) and *likely* (80/20/0), respectively (Fig. 1).

Isoinertial strength assessments: Large significant time × group interactions in favor of STG were observed for 1RM_{est}, AV, MPV₂₀,

Table 3 Changes in selected neuromuscular performance variables from pre- to post-training for each group.

	CG			STG			
	Pre	Post	Δ (90% CI)	Pre	Post	Δ (90% CI)	ES (90% CI)
T ₁₀ (s)	1.79±0.08	1.79±0.06	+0.0 (-1.3 to 1.2)	1.76±0.06	1.74±0.06	-1.3 (-2.5 to 0.0)	-0.35 (-0.71 to 0.0)
T ₁₀₋₂₀ (s)	1.33±0.06	1.32±0.06	-0.1 (-1.5 to 1.2)	1.33±0.06	1.31±0.06 [#]	-1.3 (-2.0 to -0.5)	-0.25 (-0.40 to -0.11)
T ₂₀ (s)	3.13±0.12	3.13±0.10	+0.2 (-0.6 to 1.0)	3.10±0.11	3.07±0.10 [#]	-1.1 (-1.7 to -0.4)	-0.29 (-0.47 to -0.11)
CMJ (cm)	33.2±3.7	33.4±3.7	+0.6 (-0.8 to 2.0)	33.2±4.8	36.2±5.8 ^{###}	+9.0 (6.4 to 11.3)	0.58 (0.41 to 0.72)
1RM _{est} (kg)	76.8±15.3 [*]	78.6±15.3	+2.4 (-1.4 to 2.6)	65.2±13.0	84.0±17.3 ^{###}	+28.5 (22.5 to 34.9)	1.16 (0.93 to 1.38)
AV (m·s ⁻¹)	1.20±0.06 ^{**}	1.23±0.05	+2.1 (0.6 to 3.6)	1.12±0.09	1.31±0.12 ^{###}	+18.9 (15.5 to 22.3)	1.78 (1.49 to 2.08)

Data are mean ± SD; Pre: initial evaluation; Post: final evaluation; ES: intra-groups effects size; Δ: Pre-Post Change; CI: Confidence Interval; T₁₀₋₂₀: 10–20 m sprint time; T₁₀: 10 m sprint time; T₂₀: 20 m sprint time; CMJ: countermovement jump; 1RM_{est}: estimated one-repetition maximum; AV: average velocity attained against all loads common to pre- and post-tests; Differences between groups at Pre: ^{*}P<0.05, ^{**}P<0.01; Differences intra-groups: [#]P<0.05, ^{###}P<0.001; Significant group × time interaction: [§]P<0.05, ^{\$\$\$}P<0.001. Note: The negative ES in sprint time variables represent a positive training effect, due to improvements in sprint performance are represented by a decrease in sprint time, which result in a negative ES

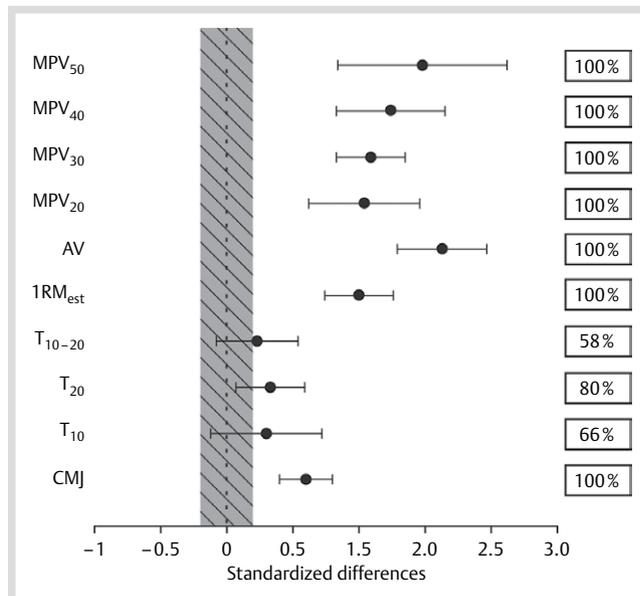


Fig. 1 Differences scores (90% confidence intervals) for changes from pre- to post-test in 10 m (T₁₀), 10–20 m (T₁₀₋₂₀) and 20 m (T₂₀) sprint time, countermovement jump performance (CMJ), estimate one repetition maximum (1RM_{est}), average velocity attained against all absolute loads common to pre- and post-tests (AV) and velocity developed against different absolute loads (MPV_{20, 30, 40 and 50}) when comparing the STG and CG. Gray areas represent trivial differences. The probability of the effect being practically relevant in favor of STG compared to CG is additionally given in the boxes.

MPV₃₀, MPV₄₀ and MPV₅₀ (P<0.001, in all cases). STG showed significant improvements in all variables measured during the isoinertial progressive loading test, whereas no significant pre-post changes were observed for CG (Table 3 and Fig. 2). Practically worthwhile differences between STG and CG showed that STG resulted in an *almost certainly* better effect on 1RM_{est} (100/0/0) and AV (100/0/0), as well as on MPV₂₀ (100/0/0), MPV₃₀ (100/0/0), MPV₄₀ (100/0/0) and MPV₅₀ (100/0/0) than CG.

Correlations: When the data from both groups were pooled, significant negative correlations were observed between the individual relative changes in CMJ and the individual relative changes in T₁₀ (r = -0.49; P<0.01) and T₂₀ (r = -0.59; P<0.001) (Fig. 3a, b). Furthermore, significant positive correlations were observed between the individual relative changes in CMJ and the individual relative changes in 1RM_{est} (r=0.63; P<0.001), AV (r=0.68; P<0.001) (Fig. 3c), MPV₂₀ (r=0.56; P<0.01), MPV₃₀ (r=0.72; P<0.001), MPV₄₀ (r=0.62; P<0.001) and MPV₅₀ (r=0.69; P<0.001). The individual relative changes in 1RM_{est} also showed a significant negative correlation with the individual relative changes in T₂₀ (r = -0.37; P<0.05). No significant correlations were found between the individual relative changes in isoinertial strength parameters and the individual relative changes in T₁₀ and T₁₀₋₂₀.

Discussion

The main finding of this study was that a RT with low loads and low volume combined with jumps and sprint exercises induced important enhancements in various strength parameters, as well as in vertical jump ability and sprint performance in young

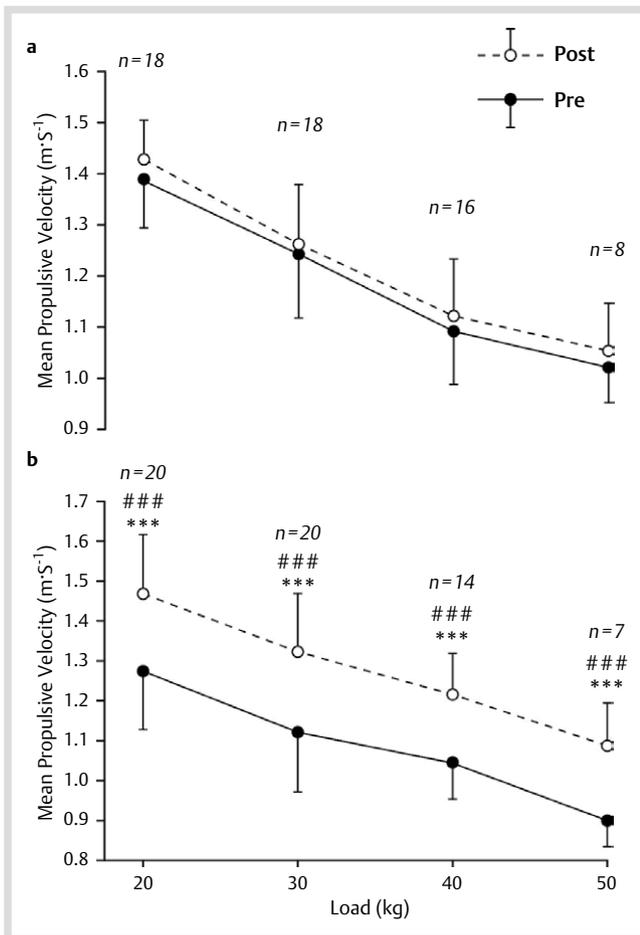


Fig. 2 Load-velocity curve in full-squat exercise obtained in control group **a** and strength training group **b** before and after a 6-week training period. Values are means \pm SD. Significant difference within group (* $P < 0.05$; ** $P < 0.01$; *** $P < 0.001$). Significant interaction time \times group (# $P < 0.05$; ## $P < 0.01$; ### $P < 0.001$). Note: The sample size in each load was decreasing because the participants did not need to progress to that resistance during the initial isoinertial squat loading test.

soccer players. Specifically, STG showed significant improvements in all the variables analyzed, except for T_{10} ($P = 0.08$), whereas CG remained unchanged after the intervention period. Thus, the results of the present study suggest that young, trained soccer players with low initial strength levels could increase physical performance by adding a low-frequency and low-load RT program combined with plyometrics that accounts for a very low percentage of the total soccer training. Therefore, these results provide relevant evidence to support the need of adding strength and power training within the soccer training program to obtain further development of the physical condition of young players.

Vertical jump and sprint time

After a 6-week intervention, STG showed greater improvement in jumping performance compared to CG (Table 3 and Fig. 1). Previous studies [8, 13, 24, 29] conducted with adults and young soccer players have shown the beneficial effects of RT combined with plyometric exercises on CMJ (1.2–5.1%; ES: 0.28–0.35), although these improvements were lower than those shown in current study (9%; ES: 0.58). However, other studies with similar training methods have failed to find significant changes in this variable [23, 35]. In one of these studies [35], the weight-lifting

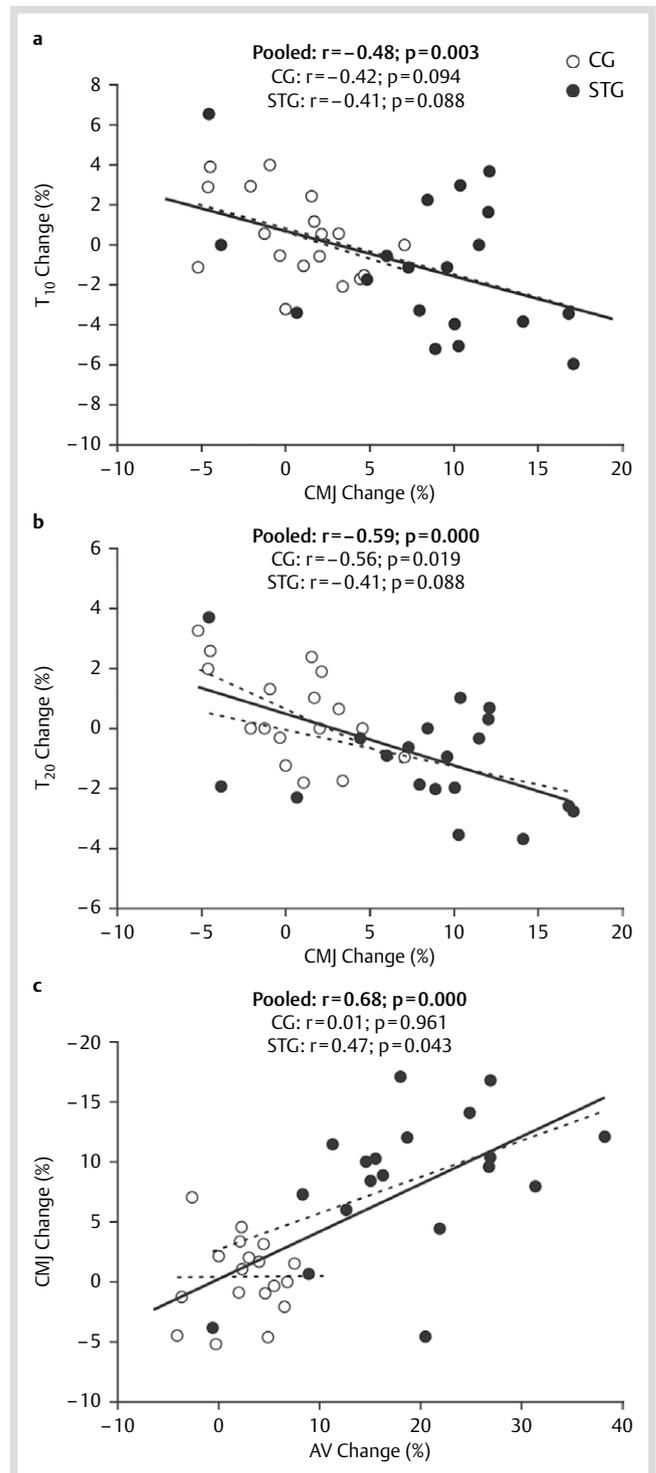


Fig. 3 Relationships between the individual percentage changes in CMJ and the individual percentage changes in 10-m sprint time **a**, 20-m sprint time **b** and average velocity attained against all absolute loads common to pre- and post-tests **c** after 6-week training period in both groups.

exercise was performed with heavy loads and repetitions to failure (6–4RM). Although these training loads have been shown to improve high-explosive actions [6], it seems that lighter, more explosive lifts may be equally or even more effective than heavier lifts that are performed at lower velocities [28]. In the other study, Lopez-Segovia et al. [23] used a training design close to the present study. Nevertheless, in this study the ST program was combined with a large volume of aerobic work. As previous

studies have indicated [34], endurance training could inhibit part of the potential adaptations resulting from ST. This did not occur during the present study, which could explain the differences between the results of both studies.

Regarding sprint time, the training program resulted in significant T_{10} , T_{20} and T_{10-20} improvements for STG whereas CG remained unchanged (◉ **Table 3**). However, the training effect was lower than the effect size (ES: -0.53 , 95% CI: $0.23-0.83$) and percentage changes ($-5.8 \pm 2.5\%$) reported in meta-analyses analyzing the effects of combined training on running sprint times in post-PHV participants [2,36]. Other studies [8,13,23,24,32,35] which analyzed the effects of combined RT and plyometrics on short-distance sprinting in young soccer players have failed to induce a change in this variable despite an increase in strength and/or power. Research into this matter has pointed out that the transfer of strength training effects into sprint performance may be limited when the tasks that supplement the RT are vertical plyometrics only or the volume of specific sprint exercises is too low [8,13,21,29]. However, the content of specific sprint exercises in the aforementioned studies was very similar to that of the present study. Furthermore, except for Ronnestad et al. [35], these studies [8,13,23,24,32] used the same weight-lifting exercise (squat) with a training volume and intensity very similar to those used in our study. Thus, the greater gains obtained in the present study could be related to other factors, including the maturity status and the baseline strength level of the participants [10]. In fact, it seems that the phase of accelerated adaptation to training for sprint improvements has been suggested to appear at mid- and post-PHV (12–15 years) [36]. Therefore, our results seem to indicate that the same training stimulus could result in greater beneficial effects on sprint and vertical jump in younger players because they might be in more favorable physiological condition (greater hormone levels and incomplete myelination of the nervous system) for strength development than older players.

Strength performance

Strength has usually been measured through the 1RM or XRM tests. However, the direct and precise measure of 1RM can be difficult to obtain if the movement velocity of such 1RM is not adequately controlled [12]. In addition, heavy weights may involve a increased risk of injury, especially for children and participants with no previous experience in strength training. For this reason, we have evaluated the effect of RT on muscle strength through the changes in movement velocity developed against different absolute loads common to pre- and post-tests, as it has been done previously with soccer players [23]. This is possible due to the development of new devices (linear position transducers, rotary encoders, accelerometers, etc.) that enable the direct measuring of many kinematic and kinetic variables that can be used to assess the effects of RT. Since the change of movement velocity against the same absolute load is directly dependent on the force applied, an increment of movement velocity is an indicator of strength improvement. Therefore, it seems that this way of measuring the change in force could prevent any mistakes that may occur during the direct measuring of 1RM.

In connection with the above, the results of our study show that only 6 weeks of RT with low loads (45–60% 1RM) and few repetitions per set produced significant gains in MPV_{20} , MPV_{30} , MPV_{40} and MPV_{50} (◉ **Fig. 2**). The magnitude of the change of movement velocity against the different absolute loads (ES = $1.17-2.28$) was substantially greater than those reported

by Lopez-Segovia et al. [23] (ES = $0.27-0.72$), although such study was longer (16 weeks) than the present study (6 weeks) and the initial strength levels appear to be similar. As mentioned above, the discrepancy with our results could be due to the fact that in this study [23] ST was combined with a large amount of aerobic work. Furthermore, our players were younger than those who took part in the study of Lopez-Segovia et al. [23]. Thus, it is possible that our soccer players were in the so-called critical periods (windows of trainability) for strength development, which may favor the adaptations induced by ST [27]. In fact, several researchers [3,33] have demonstrated a performance spurt in strength and power development to be peak approximately 0.5–1.0 years after peak height velocity, similar to that shown by the soccer players of the current study. As mentioned above, improvements in strength and consequently in power output are attributed to the rise of hormone levels (testosterone and growth hormones) associated with puberty around PHV [9,36]. On the other hand, the improvements shown by STG in $1RM_{est}$ compared to CG (25.6%; ES = 1.00) were similar to those observed in previous studies (7–30%) [5,8,21,29] in soccer players with similar duration and frequency of training. However, these studies used a RT with greater load (70–95% 1RM) and repetitions per set to muscular failure or close to it. This type of RT may hamper the effective ball practice during subsequent technical-tactical field training due to onset of localized muscular fatigue [1] and may have a greater potential risk of injury. In light of these findings, it appears that the higher velocities and accelerations associated with lighter training load may compensate for the lighter mass. Therefore, the resistance training of the present study that combines low loads and low volume with a sufficient rest period between sets might be a good alternative to obtain improvements in physical performance producing minimal interference with the specific soccer training.

Relationship between strength, vertical jump and sprint time

When the data from both teams were pooled, significant negative correlations were observed between the individual relative changes in CMJ and the individual relative changes in T_{10} and T_{20} (◉ **Fig. 3a, b**). Similar results have been reported in previous studies performed with young soccer players [13]. These relationships are in agreement with those biomechanical analyses of sprinting that show that short-distance sprint performance is highly dependent on the subject's ability to generate powerful extensions of the knee extensor, hip extensor and plantar flexor muscles [13]. On the other hand, a significant correlation was observed between the individual relative changes in $1RM_{est}$ and the individual relative changes in CMJ ($r = 0.63$; $P < 0.001$) and T_{20} ($r = -0.37$; $P < 0.05$). These relationships suggest that the improvements obtained in CMJ and sprint time were partially due to the increase of lower limb strength. The fact that the correlation between $1RM_{est}$ and CMJ was greater than the correlation between $1RM_{est}$ and T_{20} is probably explained by the principle of training specificity, as greater biomechanical similarities seem to exist between squat and CMJ (i.e., triple extension of hip, knee and ankle joints; force simultaneously applied with both feet; larger ground contact time; etc.) than between squat and sprint.

Training load analysis

The training load (kg) in full squat exercise was established according to the velocity achieved against different loads during

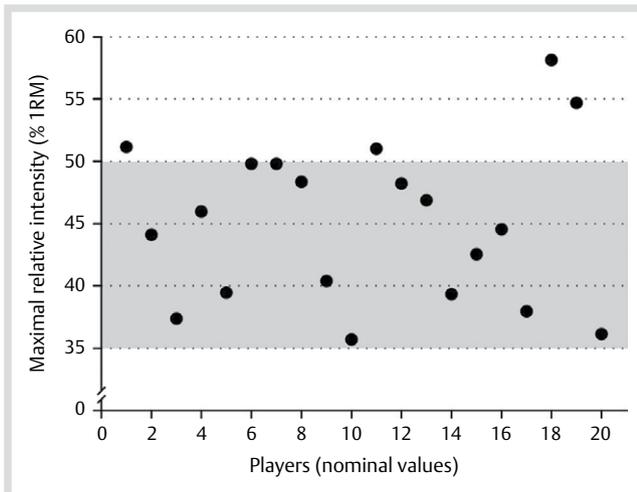


Fig. 4 Maximal relative load achieved in the last 3 training sessions for each player of strength training group. X-axis values represent nominal values.

the initial isoinertial squat loading test, and no adjustments were performed during the training period. Thus, the minimum scheduled load corresponded to $\sim 45\%$ 1RM ($\sim 1.20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$), whereas the maximum scheduled load was $\sim 58\%$ of baseline 1RM ($\sim 1.00 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) (Table 2). However, since the average improvement in 1RM_{est} in this exercise was 29.51%, it is reasonable to assume that the maximum load used during the RT program was not $\sim 58\%$ 1RM. Specifically, the average load performed in the last 3 sessions represented $45.74 \pm 7.26\%$ of the post-test 1RM_{est} ($38.05 \div 83.95 \times 100$, where 38.05 is the average absolute load of the last 3 sessions and 83.95 is the average of the post-test 1RM_{est} of STG). These results seem to indicate that the relative load (%1RM) of FS exercise remained practically stable during the 6-week strength training and in this period only the absolute load (kg) increased. Thus, most of the players of STG (16 soccer players) trained with a maximum load below or equal to 50% 1RM (Fig. 4). Therefore, our results suggest that RT in which the 50% 1RM is not overcome involves a stimulus that is sufficient to obtain relevant improvements on the performance of young soccer players without the need to use heavy loads with repetitions to muscular failure.

Conclusions and Practical Applications

The results of the present study showed that an RT program consisting of weight-lifting with low loads and low volume combined with plyometric and sprint exercises, in addition to the normal soccer training, induced important gains in strength, jumping height and sprint performance compared with only typical soccer training. Thus, several critical implications for coaches may be derived from this investigation to optimize the training process in young soccer players. First, RT with low loads and lifting the load at maximal voluntary velocity involves an intense stimulus within the normal soccer training program that produces greater improvements in tasks critical to soccer performance than those generated by specific soccer practice, without the need for performing repetitions to muscle failure. Finally, since the strength training applied in this study has a short duration and produces low fatigue levels, it can be easily integrated twice a week before the normal technical-tactical field soccer training.

Acknowledgements

The authors declare no conflicts of interest.

References

- 1 Apriantono T, Nunome H, Ikegami Y, Sano S. The effect of muscle fatigue on instep kicking kinetics and kinematics in association football. *J Sports Sci* 2006; 24: 951–960
- 2 Behringer M, Vom Heede A, Matthews M, Mester J. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatr Exerc Sci* 2011; 23: 186–206
- 3 Beunen G, Malina RM. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc Sport Sci Rev* 1988; 16: 503–540
- 4 Comfort P, Stewart A, Bloom L, Clarkson B. Relationships between strength, sprint, and jump performance in well-trained youth soccer players. *J Strength Cond Res* 2014; 28: 173–177
- 5 Chelly MS, Fathloun M, Cherif N, Ben Amar M, Tabka Z, Van Praagh E. Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *J Strength Cond Res* 2009; 23: 2241–2249
- 6 Christou M, Smilios I, Sotiropoulos K, Volaklis K, Piliandis T, Tokmakidis SP. Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J Strength Cond Res* 2006; 20: 783–791
- 7 Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci* 2012; 30: 625–631
- 8 Faude O, Roth R, Di Giovine D, Zahner L, Donath L. Combined strength and power training in high-level amateur football during the competitive season: a randomised-controlled trial. *J Sports Sci* 2013; 31: 1460–1467
- 9 Forbes H, Bullers A, Lovell A, McNaughton LR, Polman RC, Siegler JC. Relative torque profiles of elite male youth footballers: effects of age and pubertal development. *Int J Sports Med* 2009; 30: 592–597
- 10 Ford P, De Ste Croix M, Lloyd R, Meyers R, Moosavi M, Oliver J, Till K, Williams C. The long-term athlete development model: physiological evidence and application. *J Sports Sci* 2011; 29: 389–402
- 11 Gonzalez-Badillo JJ, Pareja-Blanco F, Rodriguez-Rosell D, Abad-Herencia JL, Del Ojo-Lopez JJ, Sanchez-Medina L. Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res* 2014
- 12 Gonzalez-Badillo JJ, Sanchez-Medina L. Movement velocity as a measure of loading intensity in resistance training. *Int J Sports Med* 2010; 31: 347–352
- 13 Gorostiaga EM, Izquierdo M, Ruesta M, Iribarren J, Gonzalez-Badillo JJ, Ibanez J. Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol* 2004; 91: 698–707
- 14 Harries SK, Lubans DR, Callister R. Resistance training to improve power and sports performance in adolescent athletes: a systematic review and meta-analysis. *J Sci Med Sport* 2012; 15: 532–540
- 15 Harriss DJ, Atkinson G. Ethical standards in sport and exercise science research: 2014 update. *Int J Sports Med* 2013; 34: 1025–1028
- 16 Hedges LV, Olkin IO. *Statistical methods for meta-analysis*. Orlando, FL: Academic Press, 1985
- 17 Helgerud J, Rodas G, Kemi OJ, Hoff J. Strength and endurance in elite football players. *Int J Sports Med* 2011; 32: 677–682
- 18 Hoff J, Helgerud J. Endurance and strength training for soccer players: physiological considerations. *Sports Med* 2004; 34: 165–180
- 19 Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 2009; 41: 3–13
- 20 Izquierdo M, Ibanez J, Gonzalez-Badillo JJ, Hakkinen K, Ratamess NA, Kraemer WJ, French DN, Eslava J, Altadill A, Asiain X, Gorostiaga EM. Differential effects of strength training leading to failure versus not to failure on hormonal responses, strength, and muscle power gains. *J Appl Physiol* 2006; 100: 1647–1656
- 21 Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C, Papaikovou G, Patikas D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res* 2005; 19: 369–375
- 22 Lander JE, Hundley JR, Simonton RL. The effectiveness of weight-belts during multiple repetitions of the squat exercise. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24: 603–609
- 23 Lopez-Segovia M, Palao Andres JM, Gonzalez-Badillo JJ. Effect of 4 months of training on aerobic power, strength, and acceleration in two under-19 soccer teams. *J Strength Cond Res* 2010; 24: 2705–2714

- 24 Los Arcos A, Yanci J, Mendiguchia J, Salinero JJ, Brughelli M, Castagna C. Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 2014; 9: 480–488
- 25 Maio Alves JM, Rebelo AN, Abrantes C, Sampaio J. Short-term effects of complex and contrast training in soccer players' vertical jump, sprint, and agility abilities. *J Strength Cond Res* 2010; 24: 936–941
- 26 Meylan C, Malatesta D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res* 2009; 23: 2605–2613
- 27 Meylan CM, Cronin JB, Oliver JL, Hopkins WG, Contreras B. The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scand J Med Sci Sports* 2014; 24: e156–e164
- 28 Mohamad NI, Cronin JB, Nosaka KK. Difference in kinematics and kinetics between high- and low-velocity resistance loading equated by volume: implications for hypertrophy training. *J Strength Cond Res* 2012; 26: 269–275
- 29 Moore EW, Hickey MS, Reiser RF. Comparison of two twelve week off-season combined training programs on entry level collegiate soccer players' performance. *J Strength Cond Res* 2005; 19: 791–798
- 30 Moore SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, Brasher PM. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc* 2014
- 31 Pareja-Blanco F, Rodriguez-Rosell D, Sanchez-Medina L, Gorostiaga EM, Gonzalez-Badillo JJ. Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med* 2014; 35: 916–924
- 32 Perez-Gomez J, Olmedillas H, Delgado-Guerra S, Ara I, Vicente-Rodriguez G, Ortiz RA, Chavarren J, Calbet JA. Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Appl Physiol Nutr Metab* 2008; 33: 501–510
- 33 Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, Van Renterghem B, Matthys D, Craen R, Bourgois J, Vrijens J, Beunen G, Malina RM. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci* 2006; 24: 221–230
- 34 Ronnestad BR, Hansen EA, Raastad T. High volume of endurance training impairs adaptations to 12 weeks of strength training in well-trained endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 2012; 112: 1457–1466
- 35 Ronnestad BR, Kvamme NH, Sunde A, Raastad T. Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 2008; 22: 773–780
- 36 Rumpf MC, Cronin JB, Pinder SD, Oliver J, Hughes M. Effect of different training methods on running sprint times in male youth. *Pediatr Exerc Sci* 2012; 24: 170–186
- 37 Sánchez-Medina L, García -Pallarés J, Pérez CE, Fernandes J, Gonzalez Badillo JJ. Estimation of relative load from mean velocity in the full squat exercise. In: Cable NT, George K, ed. *Book of Abstracts of the 16th Annual Congress of the European College of Sports Science*. Liverpool, UK: Liverpool John Moores University, 2011; 669
- 38 Sanchez-Medina L, Gonzalez-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc* 2011; 43: 1725–1734
- 39 Sanchez-Medina L, Perez CE, Gonzalez-Badillo JJ. Importance of the propulsive phase in strength assessment. *Int J Sports Med* 2010; 31: 123–129
- 40 Sherar LB, Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Thomis M. Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *J Pediatr* 2005; 147: 508–514
- 41 Silva JR, Magalhaes J, Ascensao A, Seabra AF, Rebelo AN. Training status and match activity of professional soccer players throughout a season. *J Strength Cond Res* 2013; 27: 20–30
- 42 Stolen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med* 2005; 35: 501–536
- 43 Wisloff U, Helgerud J, Hoff J. Strength and endurance of elite soccer players. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: 462–467

Effects of 6 Weeks Resistance Training Combined With Plyometric and Speed Exercises on Physical Performance of Pre-Peak-Height-Velocity Soccer Players

David Rodríguez-Rosell, Felipe Franco-Márquez, Fernando Pareja-Blanco, Ricardo Mora-Custodio, Juan M. Yáñez-García, José M. González-Suárez, and Juan J. González-Badillo

Purpose: To analyze the effects of low-load, high-velocity resistance training (RT) combined with plyometrics on physical performance in pre-peak-height-velocity (PHV) soccer players. **Methods:** Thirty young soccer players from the same academy were randomly assigned to either a strength training (STG, $n = 15$) or a control group (CG, $n = 15$). Strength training consisted of full squat exercise with low load (45–58% 1RM) and low volume (4–8 repetitions/set) combined with jumps and sprints twice a week over 6 wk of preseason. The effect of the training protocol was assessed using sprint performance over 10 and 20 m, countermovement jump, estimated 1-repetition maximum, and average velocity attained against all loads common to pre- and posttests in full squat. **Results:** STG showed significant improvements ($P = .004$ – $.001$) and moderate to very large standardized effects ($ES = 0.71$ – 2.10) in all variables measured, whereas no significant gains were found in CG ($ES = -0.29$ to 0.06). Moreover, significant test \times group interactions ($P < .003$ – $.001$) and greater between-groups ES s (0.90 – 1.97) were found for all variables in favor of STG compared with CG. **Conclusion:** Only 6 wk of preseason low-volume and low-load RT combined with plyometrics can lead to relevant improvements in strength, jump, and sprint performance. Thus, the combination of field soccer training and lightweight strength training could be used for a greater development of the tasks critical to soccer performance in pre-PHV soccer players.

Keywords: velocity-based, prepubertal, full squat, vertical jump, acceleration

During a soccer game, players conduct 1000 to 1400 mainly short activities with frequent changes every 4 to 6 seconds. In addition, players perform a sprint bout approximately every 70 to 90 seconds, each lasting an average of 2 to 4 seconds.^{1,2} Thus, in the physical context of the game, power and speed abilities (ie, sprinting, changing pace/direction, tackling, accelerations/decelerations, jumping, kicking) are considered vital components for successful performance in soccer.^{2,3} In fact, the most crucial moments of the game, such as winning ball possession, scoring, assisting, or preventing goals, depend on the ability of the players to perform these high-speed tasks.^{3,4} Such activities require high rates of force production by the muscles of the lower limbs.⁵ Hence, because of the importance of the explosive efforts in the general outcome of a soccer game, it is believed that strength training (ST) is necessary for adult and young soccer players to be physically well-prepared for competition.

For many years, ST has been deemed unsafe for children because it is believed to interfere with growth and it has been suggested to have a potential risk of injury.⁶ However, several reviews^{7,8} and position papers published by advisory bodies have dispelled previous concerns regarding the safety and efficacy of ST for children and adolescents, noting that ST has beneficial effects on health and sports performance. Thus, using appropriate training stimuli linked to natural growth and maturation processes could accelerate and enhance physical development.⁹ However, there is a lack

of empirical knowledge on the effects and optimization of training during growth and maturation in young soccer players.

Most studies conducted with early- and midpubertal soccer players (under 14 y) have used plyometric training.^{5,10,11} Those studies^{5,10,11} have reported that this type of training produced a marked increase in vertical-jumping ability (4–11%, ES 0.20–0.92) and acceleration capacity (2.1–3.2%, ES 0.57–0.94), but it produces small effects on strength gains. Therefore, adding 1 or more weight-lifting exercises to plyometric training may be an appropriate intervention for improving both motor ability and muscle strength of children. In fact, previous studies suggest that changes in jump, sprint, and strength resulting from the performance of combined resistance training (RT) and plyometric training are greater than with either type of training alone.^{12,13}

Several studies have examined the efficacy of combined RT and plyometrics programs in adolescent^{14,15} and adult^{16,17} soccer players. In prepubertal and early-pubertal children, combined RT and plyometrics training studies are scarce,^{12,18,19} whereas to our knowledge, no study has been conducted with pre-peak-height-velocity (PHV) soccer players. In addition, in some of the aforementioned investigations,^{15,16} weight-lifting training was performed with heavy loads (85–90% of 1RM) and repetitions to muscle failure or close to it. Although the application of this training method results in positive effects on strength gains,^{20,21} it seems that heavy-load RT may hamper the effective ball practice during subsequent technical-tactical field training due to onset of localized muscle fatigue.²² As an alternative, previous studies have indicated that lighter-load RT produces similar beneficial effects on strength gains as heavier loads, when the training is performed with maximal effort.²³ In addition, it seems that the higher velocities and accelerations

The authors are with the Research Center for Physical Performance and Sports, Pablo de Olavide University, Seville, Spain. Address author correspondence to David Rodríguez-Rosell at davidrodriguezrosell@gmail.com.

associated with lighter-load training may be a better method to induce greater improvements in athletic performance than heavier lifts that are performed at lower velocities.²⁴ Thus, the combination of moderate loads and few repetitions in the set, lifting the load at maximal voluntary velocity, could be a positive stimulus to induce relevant neuromuscular adaptations in early-pubertal soccer players without previous experience in ST. However, few studies have used a combined RT and plyometrics in which weight-lifting exercises were performed with low loads and low volume.^{14,17,25} Furthermore, all those studies were carried out with postpubertal soccer players (15–20 y). Therefore, it seems to be necessary to conduct further research to know the effects of performing a similar training program in younger soccer players. In light of the aforementioned considerations, the aim of this study was to examine the effects of 6 weeks of RT with low loads (~45–60% 1RM) and low volume (2 or 3 sets and 4–8 repetitions/set) combined with jumps and sprints on lower-limb muscle strength, jumping ability, and acceleration capacity in pre-PHV soccer players.

Methods

Subjects

Thirty-six trained young soccer players representative of 2 under-13 teams from the same academy were involved in this study. Players were matched according to their performance in countermovement jump (CMJ) and 10-m-sprint time and then randomly assigned to either an ST group (STG) or a control group (CG). Only players who participated in at least 85% of all training sessions were included in the statistical analyses. Due to injury or illness, 3 players in each group missed too many training sessions or were absent from the posttesting session. Thus, of the 36 initially enrolled players, 15 players in each group remained for statistical analyses. Player characteristics are displayed in Table 1. All participants were soccer trained for more than 3 years and were injury free for at least 6 months before participating in this study. Subjects had no experience in ST, and they did not perform ST as part of their normal training routine. Coach and parents were informed about the different test procedures performed during the study. Parental/guardian consents for all players involved in this investigation were obtained. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and was approved by the research ethics committee of Pablo de Olavide University.

Experimental Design

This study was designed to analyze the effect of a 6-week RT program with low loads combined with jump and sprint exercises on physical performance in pre-PHV soccer players. To address this, 30 young soccer players were randomly assigned to 2 groups: STG ($n = 15$) and CG ($n = 15$). The STG performed 2 strength sessions/wk along with the regular soccer training, while CG carried out only the typical soccer training. All the players, irrespective of group, participated in

4 field soccer training sessions plus 1 friendly match per week. Each training session lasted on average 2 hours and comprised various skill activities at different intensities, small-sided games, and finally 20 minutes of continuous play or high-intensity interval training. All participants were evaluated before (Pre) and after 6 weeks of ST (Post) using a battery of tests performed in the following order: 20-m all-out running sprints, CMJs, and a progressive isoinertial loading test in full squat (FS) exercise. The intervention was carried out during the preseason period (September to October). During the 2 weeks preceding this study, 4 preliminary familiarization sessions were undertaken with the purpose of emphasizing proper execution technique of FS and CMJ exercises.

Testing Procedures

Anthropometric measurements were taken before the physical testing. Standing height (cm) and body mass (kg) were measured. The maturity status of the participants was determined using years from or to PHV (ie, maturity offset = $-7.999994 + (0.0036124 \times \text{age} \times \text{height}; R^2 = .896, \text{SEE} = 0.542)$,²⁶ as well as the percentage of predicted adult stature.²⁷ Neuromuscular performance was assessed pretraining and posttraining using a battery of tests performed in a single session in a fixed sequence as described following. The tests were performed after 48 hours of rest. Testing sessions were performed at the same venue and time of day (± 1 h) for each participant under the same environmental conditions. Strong verbal encouragement was provided during all tests to motivate participants to give a maximal effort.

Running Sprints. Two 20-m sprints, separated by 3 minutes rest, were performed in an indoor running track. Photocell timing gates (Polifemo Radio Light, Microgate, Bolzano, Italy) were placed at 0, 10, and 20 m so that the times to cover 0 to 10 m (T_{10}), 0 to 20 m (T_{20}), and 10 to 20 m (T_{10-20}) could be determined. A standing start with the lead-off foot placed 1 m behind the first timing gate was used. The best of both trials was kept for analysis. The same warm-up protocol, which incorporated several sets of progressively faster 30-m running accelerations, was followed in the pretests and posttests. Test–retest reliability values for T_{10} , T_{20} , and T_{10-20} as measured by the coefficient of variation (CV) were 2.54%, 1.90%, and 1.70%, respectively. The intraclass correlation coefficients (ICCs) were .82 (95% confidence interval [CI] .63–.91) for T_{10} , .91 (95% CI .81–.95) for T_{20} , and .95 (95% CI .90–.97) for T_{10-20} .

Vertical Jump. The height of the CMJ was measured with an infrared timing system (Optojump, Microgate, Bolzano, Italy). Each player performed 5 maximal jumps with their hands on their hips separated by 30-second rests. The highest and lowest values were discarded, and the resulting average was kept for analysis. The CV for test–retest reliability was 2.22%, and the ICC was .99 (95% CI .99–1.00).

Isoinertial Squat Loading Test. A Smith machine (Multipower Fitness Line, Peroga, Murcia, Spain) was used for the isoinertial

Table 1 Participants' Physical Characteristics (Mean \pm SD)

Group	Age (y)	Mass (kg)	Height (m)	Maturity offset	Predicted adult stature (%)
Strength training	12.7 \pm 0.5	47.6 \pm 8.0	1.58 \pm 0.08	-0.77 \pm 0.52	87.6 \pm 2.4
Control	12.8 \pm 0.5	50.4 \pm 5.0	1.59 \pm 0.06	-0.72 \pm 0.34	88.5 \pm 1.7

test. A detailed description of the testing procedures used in this study has recently been reported elsewhere.²⁵ The players performed the FS from an upright position, descending (eccentric phase) at a controlled velocity and ascending (concentric phase) at maximal velocity until back to the starting position. The initial load was set at 17 kg and progressively increased in 2- to 5-kg increments until the attained mean propulsive velocity (MPV) was ~1.00 m/s (range 0.96–1.04 m/s).²⁵ The subjects performed 3 repetitions with each load. The interset recovery time was 3 minutes. Warm-up consisted of 5 minutes of joint-mobilization exercises, followed by 2 sets of 6 repetitions (3-min rest) with 10 kg. A linear velocity transducer (T-Force System, Ergotech, Murcia, Spain) was used to register bar velocity. The following variables derived from this test were used for analysis: (1) estimated 1-repetition maximum ($1RM_{est}$) calculated from the MPV with the last load (kg) of the test, $100 \times Load - 2.185 \times MPV^2 - 61.53 \times MPV + 122.5$ ($R^2 = .96$, $SEE = 5.5\%$),²⁸ and (2) average MPV attained against all absolute loads common to pretest and posttests (AV).²⁹

ST Program. The STG trained twice a week on nonconsecutive days (Monday and Thursday) for a period of 6 weeks using free-weight FS, jumps, sprints, and changes of direction. ST sessions lasted ~35 minutes, and they were conducted before the field training. The loads used by each player in FS exercise were assigned according to the movement velocity of the Smith machine bar obtained in the initial isoinertial squat loading test. Thus, relative load of the FS exercise progressively increased from ~1.20 m/s (~45% 1RM) to ~1.00 m/s (~58% 1RM). Table 2 shows in detail the exercises, weekly frequency, number of repetitions, number of sets, and the exercise intensities of the explosive-ST program. Approximately 3-minute rest periods were allowed between sets and between exercises. The participants were instructed to perform all exercises at maximal intended velocity. Two trained researchers supervised each workout session and recorded the compliance and individual workout data during each training session. In all sessions, players performed a standardized warm-up consisting of 5 minutes of jogging and 3 minutes of joint-mobilization exercises. Thereafter, participants performed 2 warm-up sets of FS with gradually increased weight.

Statistical Analysis

Values are reported as mean \pm SD. Homogeneity of variance across groups (CG vs STG) was verified using the Levene test, and normality assumption with the Shapiro Wilk test. Data were first analyzed using a 2×2 factorial ANOVA with repeated measures with Bonferroni post hoc comparisons using 1 interfactor (STG vs CG) and 1 intrafactor (pretraining vs posttraining). In addition to this null-hypothesis testing, data were assessed for clinical

significance using an approach based on the magnitude of change.³⁰ Standardized effects or ESs were calculated using Hedge's g .³¹ Threshold values for assessing magnitudes of standardized effects were 0.20, 0.60, 1.20, and 2.00 for small, moderate, large, and very large, respectively.³⁰ The standardized difference or ES for changes between the STG and CG in each dependent variable was calculated on log-transformed values using the pooled pretraining SD.³⁰ Probabilities were also calculated to establish whether the true (unknown) differences were lower, similar, or higher than the smallest worthwhile difference or change (0.2 multiplied by the between-subjects SD).³⁰ Pearson correlation coefficients were calculated to establish the respective relationships between the changes of all measured variables. Statistical significance was established at the $P \leq .05$ level. The statistical analyses were performed using SPSS software version 18.0 (SPSS Inc, Chicago, IL).

Results

There were no significant differences between groups at baseline for any variable analyzed. Compliance with the ST program was $93.5\% \pm 6.3\%$ of all sessions scheduled for the STG. Mean values, percentage changes from pretraining to posttraining, and ESs for all variables analyzed are reported in Table 3.

Isoinertial Strength Assessments

Significant time \times group interactions ($P = .000$) in favor of the STG were noted for both variables measured during the isoinertial progressive loading test. The STG showed significant improvements ($P = .001$) in $1RM_{est}$ and AV, whereas no significant pre–post changes were observed for the CG in any variable (Table 3). Practically worthwhile differences between STG and CG showed that ST resulted in an almost certainly better effect on $1RM_{est}$, as well as on AV (with chance for greater/similar/lower score than CG of 100/0/0% for STG) than CG (Figure 1).

Vertical Jump and Sprint Time

Large and significant time \times group interactions in favor of STG were observed for all variables ($P = .003$ for T_{10} , $P = .001$ for T_{20} , and $P = .000$ for T_{10-20} and CMJ). The STG showed significant increases in all performance variables. No significant pre–post changes were found for CG in sprint times, while CMJ showed a significant decrease (-3.4% , $P = .03$). Greater intragroup and between-groups ESs were found for STG than for CG in all variables. In addition, STG presented almost certainly greater effect on CMJ, T_{10} , T_{10-20} , and T_{20} than CG (Figure 1).

Table 2 Characteristics of Strength-Training Program

Exercise	Session											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Full squat (S \times R) (m/s)	2 \times 8 (1.20)	3 \times 8 (1.20)	3 \times 8 (1.20)	3 \times 6 (1.12)	3 \times 6 (1.12)	3 \times 8 (1.12)	2 \times 6 (1.06)	3 \times 6 (1.06)	3 \times 6 (1.06)	2 \times 4 (1.00)	3 \times 4 (1.00)	3 \times 4 (1.00)
CMJ (S \times R)		3 \times 5										
COD (R \times T), s	3 \times 10		3 \times 10		4 \times 10		4 \times 10		5 \times 10		3 \times 10	
Sprint (R \times D), m		3 \times 20		4 \times 20		3 \times 20		4 \times 20		4 \times 20		3 \times 20

Abbreviations: CMJ, countermovement jump; COD, changes of directions; S, sets; R, repetitions; T, time duration; D, distance.

Table 3 Changes in Selected Neuromuscular Performance Variables From Pretraining to Posttraining for Each Group

	Strength-Training Group (n = 15)				Control Group (n = 15)			
	Pretraining	Posttraining	Δ (90% CI)	ES (90% CI)	Pretraining	Posttraining	Δ (90% CI)	ES (90% CI)
T ₁₀ (s)	1.89 ± 0.06	1.84 ± 0.07**††	-2.7 (-4.4 to -0.9)	-0.78 (-1.29 to -0.27)	1.87 ± 0.07	1.89 ± 0.08	1.2 (0.0–2.4)	0.29 (0.0–0.59)
T _{10–20} (s)	1.48 ± 0.06	1.43 ± 0.05***†††	-3.5 (8.4–16.0)	-0.82 (-1.12 to -0.51)	1.44 ± 0.07	1.46 ± 0.07	0.8 (-0.5 to 2.2)	0.16 (-0.10 to 0.43)
T ₂₀ (s)	3.37 ± 0.11	3.28 ± 0.11***†††	-2.7 (-4.0 to -1.4)	-0.75 (-1.1 to -0.39)	3.32 ± 0.13	3.36 ± 0.14	1.0 (-0.1 to 2.2)	0.25 (-0.02 to 0.52)
CMJ (cm)	26.8 ± 4.3	30.0 ± 3.9***†††	12.2 (8.4–16.0)	0.71 (0.50–0.92)	27.9 ± 4.8	26.9 ± 4.7*	-3.5 (-6.0 to -1.0)	-0.20 (-0.35 to 0.06)
AV (m/s)	1.04 ± 0.12	1.32 ± 0.12***†††	27.5 (8.4–16.0)	2.10 (1.73–2.46)	1.07 ± 0.12	1.08 ± 0.11	0.5 (-2.0 to 3.1)	0.04 (-0.16 to 0.24)
1RM _{est} (kg)	41.3 ± 15.8	61.1 ± 14.9***†††	52.0 (39.6–65.4)	1.30 (1.03–1.56)	47.7 ± 13.6	48.2 ± 12.8	1.6 (-2.3 to 5.7)	0.06 (-0.08 to 0.39)

Abbreviations: Δ , pretraining-to-posttraining change; CI, confidence interval; ES, intragroup effect size; T₁₀, 10-m-sprint time; T_{10–20}, 10- to 20-m-sprint time; T₂₀, 20-m-sprint time; CMJ, countermovement-jump height; AV, average mean propulsive velocity attained against absolute loads common to pretest and posttest in the squat progressive loading test; 1RM_{est}, estimate 1-repetition-maximum squat strength.

Note: The negative ESs in sprint-time variables represent a positive training effect, due to improvements in sprint performance, are represented by a decrease in sprint time, which result in a negative ES.

Intragroup significant differences from pretraining to posttraining: * $P < .05$, ** $P < .01$, *** $P < .001$. Significant group \times time interaction: †† $P < .01$, ††† $P < .001$.

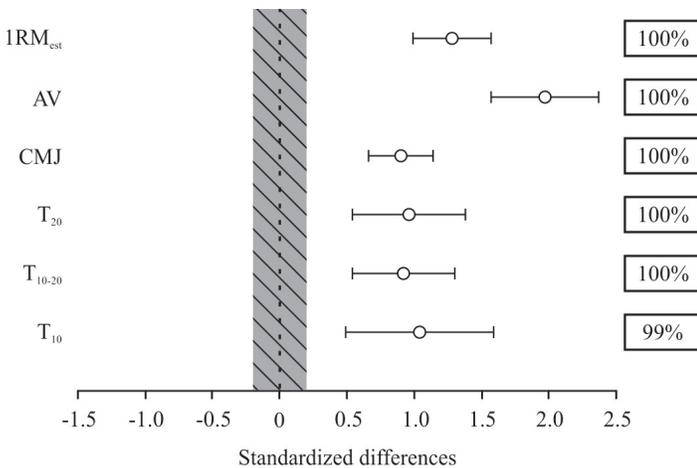


Figure 1 — Standardized differences in the change (90% confidence intervals) from pretest to posttest between strength-training group and control group in 10-m (T_{10}), 10-to-20-m (T_{10-20}), and 20-m (T_{20}) sprint time; countermovement-jump performance (CMJ); estimate 1-repetition maximum ($1RM_{est}$); and average velocity (AV) attained against all absolute loads common to pretests and posttests. Gray areas represent trivial differences. The probability of the effect being practically relevant in favor of strength training compared with control is given in the boxes

Relationships Between Isoinertial Strength Parameters, Vertical Jump, and Sprint Time

When data from both groups were pooled, significant negative correlations were observed between the individual relative changes in CMJ, T_{10} ($r = -.44$, $P = .017$), T_{10-20} ($r = -.60$, $P = .001$), and T_{20} ($r = -.55$, $P = .002$). Furthermore, significant correlations were observed between the individual relative changes in strength parameters and the individual relative changes in CMJ and sprint times, except between the individual relative changes in $1RM_{est}$ and those in T_{10} ($r = -.34$, $P = .072$; Table 4).

Discussion

To the best of our knowledge, this is the first study to analyze the effects of adding, in addition to the normal soccer training routine, low-load and low-volume RT combined with plyometrics on physical performance in pre-PHV soccer players. The main finding of this study was that STG showed significant improvements in all variables analyzed, whereas CG remained unchanged and even decreased their performance after the intervention period. Thus, our results substantiated our hypothesis that adding this type of ST, which accounts for a very low percentage of the total soccer training, may be a positive training stimulus to enhance muscle strength and other factors critical to soccer performance in a group of young soccer players.

After the 6-week training intervention, STG showed greater percentage changes and higher intragroup ESs in $1RM_{est}$ and AV than CG (Table 3). The large improvements shown by STG in strength parameters (27–56%, ES 1.18–2.10) were comparable to or even higher than those found in previous studies with similar-age subjects,^{18–21} despite the fact that the training period was shorter (6 vs 8–16 wk) and the training status of subjects was greater (trained vs untrained) in the current than in the abovementioned studies. Furthermore, our results are especially relevant because they were obtained with an ST program performed with lower loads, repetitions, and number of

Table 4 Relationship Between the Individual Relative Changes of the Different Performance Variables

	T_{10}	T_{10-20}	T_{20}	CMJ
CMJ	-.44 (19)**	-.60 (36)***	-.55 (30)**	1
$1RM_{est}$	-.34 (12)	-.55 (30)**	-.37 (14)*	.54 (29)**
AV	-.36 (13)*	-.63 (40)***	-.45 (20)**	.60 (36)***

Abbreviations T_{10} , 10-m-sprint time; T_{10-20} , 10-to 20-m-sprint time; T_{20} , 20-m-sprint time; CMJ, countermovement-jump height; $1RM_{est}$, estimate 1-repetition maximum squat strength; AV, average mean propulsive velocity attained against absolute loads common to pretest and posttest in the squat progressive loading test.

Note: The numbers in parentheses are the percent common variance ($r^2 \times 100$).

Significant relationship: * $P < .05$, ** $P < .01$, *** $P < .001$.

exercises than previous pediatric studies.^{18–20} An increase in muscle strength has been suggested to be stimulated by high tension in the muscle fiber. For this reason, heavy loads have usually been employed for improving the force capability of muscle. However, it is possible to obtain high tension and recruitment of high threshold units even during training with lighter loads, provided that load acceleration is sufficiently high.²³ In the current study it was emphasized that all exercises should be performed at maximal intended velocity. Thus, although a previous meta-analysis³² indicated that loads below 60% to 80% of 1RM are less likely to induce strength gains, our results suggest that RT with low loads emphasizing lifting the load at maximal voluntary velocity appears to be effective to obtain substantial improvements in strength performance in pre-PHV soccer players without previous experience in ST.

Sprints, decelerations, changes of directions, and jumps are actions that occur frequently in soccer.^{2,3} Thus, the effects of ST on sport performance rather than solely on muscle development should be of interest to coaches and strength and conditioning professionals. In the current study, ST resulted in moderate and significant improvements in CMJ (12.2%, ES 0.71) and sprint times (2.7–3.5%, ES 0.75–0.82) after the intervention, while CG showed a marked decrease in performance, especially in jump height (–3.5%, ES –0.20). Previous studies have shown the effectiveness of combined RT and plyometric training to improve jump performance in children athletes¹² and nonathletes,¹⁹ although these improvements were lower (6.5–8.1%) than those shown in the current study. However, other studies^{18,33} with similar training methods have failed to find significant changes in this variable. Those studies^{18,33} used a greater number of weight-lifting exercises (7 or 8), heavier loads (60–80% 1RM), greater number of repetitions per set (8–15), shorter rest periods between sets (~1 min), and greater volume of plyometric training than in the current study. Recent evidence indicates that a training program of these characteristics may not be advisable for soccer players for several reasons: It usually requires long training sessions (60–90 min), it appears to induce a high level of neuromuscular fatigue,³⁴ and, consequently, it may hamper effective ball practice and other soccer-skill performance during the subsequent field soccer training (for at least 24 h).²²

With regard to sprint time, the current study reported greater training effects than reported in previous meta-analyses assessing the effects of combined training on running sprint times (–2.67% \pm 0.67%, ES 0.52 \pm 0.13) in pre-PHV participants.³⁵ Note that previous pediatric studies that showed significant improvements (–2.1% to –3.1%) in short-distance-sprint time after a combination of RT and plyometrics were conducted with pre-PHV untrained subjects,^{18,19} whereas studies conducted with pre-PHV and mid-PHV trained boys^{12,33} showed

a small or null beneficial effect (−0.3% to −0.9%) on sprint ability. Therefore, the results of these studies suggest that the magnitude of change in sprint may be dependent on the training background of the subjects. However, this is in contrast to our results, as the subjects in the current study were soccer trained for more than 3 years.

Taken together, the large beneficial effects in jump and sprint performance shown by STG suggest that the training program applied in the current study may be more effective than those used in previous studies,^{12,18,20} which usually involved RT with heavy loads and high volume. This fact might be related to the principle of training specificity. First, lighter loads are lifted faster than heavier loads. Second, against a lower or equal number of repetitions, lighter loads result in faster average movement velocity during each training set than do heavier loads. Thus, it is reasonable to presume that low-load and low-volume RT allows training at higher velocity than RT with higher loads and volumes, which could produce a greater transfer effect of strength gains on jump and sprint performance. Although the neurophysiological mechanisms by which a greater training velocity influences strength, jump, and sprint improvements were not investigated in the current study, training with maximal intended concentric velocity in each repetition could result in a greater and/or more effective recruitment of fast-twitch muscle fibers,³⁶ changes in myosin heavy-chain isoform composition,³⁷ and increases in tendon-aponeurosis stiffness.³⁸ All these factors appear to induce substantial improvements on rate of force development³⁷ and, consequently, on different types of explosive actions such as sprints and jumps. It is also possible that a better synchronization of body segments or an increase in specific coordination level may have influenced jump and sprint improvements.

On the other hand, STG showed greater gains in jump and sprint time compared with previous studies^{14,17} (CMJ 5.1–3.4%, sprint time −0.82% to −1.0%) using a similar training method. However, those studies^{14,17} were conducted with soccer players age 18 to 20 years. Thus, the greater gains obtained in the current study could be related to the maturity status and the baseline strength level of the participants.⁹ In fact, the phase of accelerated adaptation to training for sprint has been suggested to appear at the age of 12 to 15,³⁹ which is approximately around the onset of puberty. Therefore, our results seem to indicate that a similar training stimulus could result in greater beneficial effects on sprint and vertical jump in younger players because they might be in physiological condition more favorable to strength development than older players.

Finally, in the current study, significant negative correlations were observed between the individual relative changes in CMJ height and the individual relative changes in T₁₀, T_{10–20}, and T₂₀. Similar results have been reported in previous studies.¹⁴ These relationships suggest that short-distance sprints are highly dependent on the subject's ability to generate powerful extensions of the knee-extensor, hip-extensor, and plantar-flexor muscles.¹⁴ On the other hand, significant correlations were observed between the individual relative changes in strength parameters and the individual relative changes in CMJ and sprint times. These results suggest that the improvements obtained in jump and sprint ability were partially due to the increase in lower-limb strength. Hence, improvements in muscle strength resulting from integral neuromuscular training may lead to higher sport-specific performance in childhood and youth.

Practical Applications

The current study has several practical applications. First, RT with low loads and few repetitions per set, lifting the load at maximal voluntary velocity, combined with low-volume plyometrics seems to

be an appropriate stimulus to improve several tasks critical to soccer performance. These results have special interest for young soccer players without previous experience in strength training, as this type of training seems to produce strength and athletic development with an apparently weaker training stimulus than training programs used in previous pediatric studies. Furthermore, the relationships observed between the individual changes in lower-limb strength and the individual changes in jump and sprint performance suggest that it could be necessary to add ST aimed at maximizing improvements in lower-limb strength as a complement to the specific tactical-technical soccer training in development programs of the professional soccer clubs. On the other hand, since the ST applied in this study accounts for a very low percentage of the total soccer training, it can be easily integrated twice a week before the technical-tactical field soccer training.

Conclusions

The results of the current study showed that only 6 weeks of RT with low loads and low volume combined with plyometrics, in addition to typical soccer training, produced significant and practical gains in strength, jumping height, and sprint performance compared with only typical soccer training. Thus, it can be speculated that the inclusion of ST of these characteristics in the specific soccer training program exploits the adaptations of the neuromuscular mechanisms better than only regular soccer training in pre-PHV players.

References

1. Strøyer J, Hansen L, Klausen K. Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:168–174. PubMed doi:10.1249/01.MSS.0000106187.05259.96
2. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisloff U. Physiology of soccer: an update. *Sports Med.* 2005;35:501–536. PubMed doi:10.2165/00007256-200535060-00004
3. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci.* 2000;18:669–683. PubMed doi:10.1080/02640410050120050
4. Faude O, Koch T, Meyer T. Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci.* 2012;30:625–631. PubMed doi:10.1080/02640414.2012.665940
5. Meylan C, Malatesta D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res.* 2009;23:2605–2613. PubMed doi:10.1519/JSC.0b013e3181b1f330
6. Blimkie CJ. Resistance training during preadolescence: issues and controversies. *Sports Med.* 1993;15:389–407. PubMed doi:10.2165/00007256-199315060-00004
7. Behringer M, Vom Heede A, Matthews M, Mester J. Effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatr Exerc Sci.* 2011;23:186–206. PubMed
8. Faigenbaum AD, Myer GD. Resistance training among young athletes: safety, efficacy and injury prevention effects. *Br J Sports Med.* 2010;44:56–63. PubMed doi:10.1136/bjism.2009.068098
9. Ford P, De Ste Croix M, Lloyd R, et al. The long-term athlete development model: physiological evidence and application. *J Sports Sci.* 2011;29:389–402. PubMed doi:10.1080/02640414.2010.536849
10. Diallo O, Dore E, Duche P, Van Praagh E. Effects of plyometric training followed by a reduced training programme on physical performance in prepubescent soccer players. *J Sports Med Phys Fitness.* 2001;41:342–348. PubMed

11. Ramírez-Campillo R, Meylan C, Alvarez C, et al. Effects of in-season low-volume high-intensity plyometric training on explosive actions and endurance of young soccer players. *J Strength Cond Res.* 2014;28:1335–1342. [PubMed doi:10.1519/JSC.0000000000000284](#)
12. Faigenbaum AD, McFarland JE, Keiper FB, et al. Effects of a short-term plyometric and resistance training program on fitness performance in boys age 12 to 15 years. *J Sports Sci Med.* 2007;6:519–525. [PubMed](#)
13. Fatouros IG, Jamurtas AZ, Leontsini D, et al. Evaluation of plyometric exercise training, weight training, and their combination on vertical jumping performance and leg strength. *J Strength Cond Res.* 2000;14:470–476.
14. Gorostiaga EM, Izquierdo M, Ruesta M, Iribarren J, Gonzalez-Badillo JJ, Ibanez J. Strength training effects on physical performance and serum hormones in young soccer players. *Eur J Appl Physiol.* 2004;91:698–707. [PubMed doi:10.1007/s00421-003-1032-y](#)
15. Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C, Papaikovou G, Patikas D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res.* 2005;19:369–375. [PubMed](#)
16. Ronnestad BR, Kvamme NH, Sunde A, Raastad T. Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res.* 2008;22:773–780. [PubMed doi:10.1519/JSC.0b013e31816a5e86](#)
17. Los Arcos A, Yanci J, Mendiguchia J, Salinero JJ, Brughelli M, Castagna C. Short-term training effects of vertically and horizontally oriented exercises on neuromuscular performance in professional soccer players. *Int J Sports Physiol Perform.* 2014;9:480–488. [PubMed doi:10.1123/IJSP.2013-0063](#)
18. Ingle L, Sleaf M, Tolfrey K. The effect of a complex training and detraining programme on selected strength and power variables in early pubertal boys. *J Sports Sci.* 2006;24:987–997. [doi:10.1080/02640410500457117](#)
19. Meylan CM, Cronin JB, Oliver JL, Hopkins WG, Contreras B. The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11–15-year-olds. *Scand J Med Sci Sports.* 2014;24:e156–e164. [PubMed doi:10.1111/sms.12128](#)
20. Christou M, Smilios I, Sotiropoulos K, Volaklis K, Piliandis T, Tokmakidis SP. Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J Strength Cond Res.* 2006;20:783–791. [PubMed](#)
21. Faigenbaum AD, Milliken LA, Loud RL, Burak BT, Doherty CL, Westcott WL. Comparison of 1 and 2 days per week of strength training in children. *Res Q Exerc Sport.* 2002;73:416–424. [PubMed doi:10.1080/02701367.2002.10609041](#)
22. Draganidis D, Chatzinikolaou A, Jamurtas AZ, et al. The time-frame of acute resistance exercise effects on football skill performance: the impact of exercise intensity. *J Sports Sci.* 2013;31:714–722. [PubMed doi:10.1080/02640414.2012.746725](#)
23. Moss BM, Refsnes PE, Abildgaard A, Nicolaysen K, Jensen J. Effects of maximal effort strength training with different loads on dynamic strength, cross-sectional area, load-power and load-velocity relationships. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1997;75:193–199. [PubMed doi:10.1007/s004210050147](#)
24. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc.* 1993;25:1279–1286. [PubMed doi:10.1249/00005768-199311000-00013](#)
25. González-Badillo JJ, Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Abad-Herencia JL, Del Ojo-López JJ, Sánchez-Medina L. Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res.* 2015;29(5):1329–1338. [PubMed doi:10.1519/JSC.0000000000000764](#)
26. Moore SA, McKay HA, Macdonald H, Nettlefold L, Baxter-Jones AD, Cameron N, Brasher PM. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc.* 2015;47(8):1755–1764. [PubMed doi:10.1249/MSS.0000000000000588](#)
27. Sherar LB, Mirwald RL, Baxter-Jones AD, Thomis M. Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *J Pediatr.* 2005;147:508–514. [PubMed doi:10.1016/j.jpeds.2005.04.041](#)
28. Sánchez-Medina L, García-Pallarés J, Pérez CE, Fernandes J, González Badillo JJ. Estimation of relative load from mean velocity in the full squat exercise. In: Cable NT, George K, eds. *Book of Abstracts of the 16th Annual Congress of the European College of Sports Science.* Liverpool, UK: Liverpool John Moores University; 2011:669.
29. Pareja-Blanco F, Rodríguez-Rosell D, Sánchez-Medina L, Gorostiaga EM, González-Badillo JJ. Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med.* 2014;35(11):916–924. [PubMed doi:10.1055/s-0033-1363985](#)
30. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41:3–13. [PubMed doi:10.1249/MSS.0b013e31818cb278](#)
31. Hedges LV, Olkin IO. *Statistical Methods for Meta-Analysis.* Orlando, FL: Academic Press; 1985.
32. Behringer M, Vom Heede A, Yue Z, Mester J. Effects of resistance training in children and adolescents: a meta-analysis. *Pediatrics.* 2010;126:e1199–e1210. [PubMed doi:10.1542/peds.2010-0445](#)
33. Gabbett TJ, Johns J, Riemann M. Performance changes following training in junior rugby league players. *J Strength Cond Res.* 2008;22:910–917. [PubMed doi:10.1519/JSC.0b013e31816a5fa5](#)
34. Sánchez-Medina L, González-Badillo JJ. Velocity loss as an indicator of neuromuscular fatigue during resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 2011;43:1725–1734. [PubMed doi:10.1249/MSS.0b013e318213f880](#)
35. Rumpf MC, Cronin JB, Pinder SD, Oliver J, Hughes M. [Effect of different training methods on running sprint times in male youth.](#) *Pediatr Exerc Sci.* 2012;24:170–186. [PubMed](#)
36. Van Cutsem M, Duchateau J, Hainaut K. Changes in single motor unit behaviour contribute to the increase in contraction speed after dynamic training in humans. *J Physiol.* 1998;513(Pt 1):295–305. [PubMed doi:10.1111/j.1469-7793.1998.295by.x](#)
37. Aagaard P, Simonsen EB, Andersen JL, Magnusson P, Dyhre-Poulsen P. Increased rate of force development and neural drive of human skeletal muscle following resistance training. *J Appl Physiol.* 2002;93:1318–1326. [PubMed doi:10.1152/jappphysiol.00283.2002](#)
38. Bojsen-Møller J, Magnusson SP, Rasmussen LR, Kjaer M, Aagaard P. Muscle performance during maximal isometric and dynamic contractions is influenced by the stiffness of the tendinous structures. *J Appl Physiol.* 2005;99:986–994. [PubMed doi:10.1152/jappphysiol.01305.2004](#)
39. Philippaerts RM, Vaeyens R, Janssens M, et al. The relationship between peak height velocity and physical performance in youth soccer players. *J Sports Sci.* 2006;24:221–230. [PubMed doi:10.1080/02640410500189371](#)

EFFECT OF HIGH-SPEED STRENGTH TRAINING ON PHYSICAL PERFORMANCE IN YOUNG SOCCER PLAYERS OF DIFFERENT AGES

DAVID RODRÍGUEZ-ROSELL, FELIPE FRANCO-MÁRQUEZ, RICARDO MORA-CUSTODIO, AND JUAN JOSÉ GONZÁLEZ-BADILLO

Physical Performance & Sports Research Center, Pablo de Olavide University, Seville, Spain

ABSTRACT

Rodríguez-Rosell, D, Franco-Márquez, F, Mora-Custodio, R, and González-Badillo, JJ. Effect of high-speed strength training on physical performance in young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res* 31(9): 2498–2508, 2017—The aim of the present study was to compare the effectiveness of low-load, low-volume weight training combined with plyometrics on strength, sprint, and jump performance in soccer players of different ages. Eighty-six soccer players from the same academy were categorized into 3 groups by age (under 13 years, U13, $n = 30$; under 15, U15, $n = 28$; and under 17, U17, $n = 28$) and then randomly assigned into 2 subgroups: a strength training group (STG) and a control group (CG). The strength training program was performed twice a week for 6 weeks and consisted of full squats (load: 45–60% 1 repetition maximum; volume: 3 set of 8–4 repetitions), jumps, and straight line sprint exercises. After training intervention, the STGs showed significant improvements in maximal strength (7.5–54.5%; $p < 0.001$), jump height (5.7–12.5%; $p < 0.01–0.001$), and sprint time (–3.7 to –1.2%; $p \leq 0.05–0.001$), whereas no significant gains were found for any variable in the CGs. Comparison between experimental groups resulted in a greater magnitude of change for U13 compared with U15 (effect sizes [ES]: 0.10–0.53) and U17 (ES: 0.14–1.41) soccer players in most variables, whereas U15 showed higher improvements in jump and strength parameters than U17 (ES: 0.25–0.90) soccer players. Thus, although our results indicate that a combined weight training and plyometrics program may be effective in eliciting gains in strength, jump, and sprint in soccer players of different ages, the training program used appears to be generally less effective as the age of the soccer players increased. Therefore, it appears that training

characteristics (mainly volume, intensity, and type of exercise) should be modified in relation to maturity status and initial strength level.

KEY WORDS combined training, sprint performance, vertical jump, maturity status

INTRODUCTION

Soccer is a team sport that combines prolonged high-intensity intermittent exercise interspersed with short bouts of recovery (21,33). During a match, players change movement task on average every 4–6 seconds and can perform approximately 1,300 actions, with 200 of these being completed at high intensity (21,33). These game-related demanding activities such as changes of direction, sprint, dribbling, tackling, kicking ball, and heading require high rates of force production by the muscles of the lower limbs (19). Thus, a soccer player must not only manage technical and tactical tasks, but also must have well-developed physical conditioning in terms of strength, power, and speed to yield high performance during a match (12,33). Therefore, using appropriate strength training programs could enhance several explosive actions that are crucial to the outcome of the game.

A myriad of strength training modes have shown to be effective in eliciting beneficial effects in neuromuscular performance in young and adult soccer players, including weight training (4,5), plyometric training (6,19), and combined weight training and plyometrics (27). Traditionally, weight training studies in soccer players have involved high loads (~70–90% one-repetition maximum [1RM]) and repetitions ending at or close to muscle failure (4,5,15,27). However, recent studies (8,10,24,26) have been conducted using weight training programs with light loads, few repetitions per set, and maximal voluntary lifting velocities, either alone or in combination with plyometric exercises. The results of these studies indicated that training programs with these characteristics are equally or more effective than weight training programs with heavy loads in inducing gains in strength, jump, and sprint performance in soccer players of different ages. However, the influence of age of soccer

Address correspondence to David Rodríguez-Rosell,
davidrodriguezrosell@gmail.com.

31(9)/2498–2508

Journal of Strength and Conditioning Research
© 2016 National Strength and Conditioning Association

TABLE 1. Participant's physical characteristics (mean \pm SD).*

Cohort	Group	N	Age (y)	Mass (kg)	Height (m)	MO (y)	PAS (%)
U13	STG	15	12.6 \pm 0.5	46.3 \pm 7.8	1.58 \pm 0.08	-0.80 \pm 0.58	86.5 \pm 2.3
	CG	15	12.6 \pm 0.5	48.1 \pm 5.8	1.60 \pm 0.06	-0.78 \pm 0.34	87.8 \pm 1.7
U15	STG	14	14.6 \pm 0.5	59.6 \pm 5.7	1.70 \pm 0.05	0.96 \pm 0.45	95.1 \pm 1.8
	CG	14	14.6 \pm 0.5	63.2 \pm 7.3	1.70 \pm 0.06	1.01 \pm 0.5	95.3 \pm 2.0
U17	STG	14	16.4 \pm 0.5	69.1 \pm 4.0	1.72 \pm 0.04	2.18 \pm 0.22	98.6 \pm 0.4
	CG	14	16.5 \pm 0.5	69.4 \pm 3.5	1.71 \pm 0.04	2.17 \pm 0.28	98.6 \pm 0.5

*MO = maturity offset; PAS = predicted adult stature; U13 = under-13; STG = strength training group; CG = control group; U15 = under-15; U17 = under-17.

players on changes in strength and sport-related performance after such strength training programs is less clearly established.

Large morphological and neural changes occur during growth and maturation (2,18). These factors could play an important role in the ability to adapt to a specific training stimulus. Thus, because of physiological differences associated with maturation status (e.g., hormonal rise, central nervous system myelination) and training age, it is possible that younger and older individuals may adapt differently to a given training stimulus (9,20). In this context, few studies (9,16,17,20) have investigated the change in physical performance measures across different ages or maturity groups after performing the same training program. These studies used weight training with heavy loads (>70% of 1RM) and showed conflicting results, from no significant differences associated with chronological age or maturation status to greater beneficial effects for pre-, mid-, or postpeak height velocity (PHV) depending on the measured variable. To the authors' knowledge, the strength, jump, and sprint adaptations in soccer players of different chronological ages following a short-term strength training program have not been documented. Therefore, given the limitations previously cited, the aim of this study was to compare the effect of a weight training program with low loads and a low number of repetitions per set, combined with plyometrics on lower limb muscle strength, jumping ability, and sprint performance in under-13, under-15 and under-17 soccer players.

METHODS

Experimental Approach to the Problem

This study was designed to analyze the effect of a 6-week weight training program with low loads and low volume combined with plyometrics and speed exercises on physical performance in young soccer players in 3 different age categories: under 13 (U13), under 15 (U15), and under 17 (U17). To address this, 86 young soccer players of 3 categories were randomly assigned to strength training group (STG) or control group (CG) as follows: U13 (STG, $n = 15$; CG, $n = 15$), U15 (STG, $n = 14$; CG, $n = 14$), and U17 (STG, $n = 14$; CG, $n = 14$). The players assigned to STGs performed weight training combined with plyometrics, whereas players assigned to CGs merely undertook typical soccer training. All the players, regardless of group, participated in 4 field soccer training sessions plus 1 friendly match per week. Each training session lasted on average 2 hours and comprised various skill activities at different intensities, small-sided games, and finally 20 minutes of continuous play or high-intensity interval training. All subjects were evaluated before (Pre) and after 6 weeks of strength training (Post) using a battery of tests performed in the following order: (a) 20 m all-out running sprints; (b) countermovement vertical jumps (CMJ); and (c) a progressive isoinertial loading test in a full squat exercise. The intervention was carried out during the preseason period (September–October). During the 2

TABLE 2. Characteristics of strength training program.*

Exercises	Sessions					
	1	2	3	4	5	6
FS (S × R) (% 1RM _{est})	2 × 8 (45)	3 × 8 (45)	3 × 8 (45)	3 × 6 (50)	3 × 6 (50)	3 × 8 (50)
Load training (kg)						
U13	15.9 ± 4.4	15.9 ± 4.4	15.9 ± 4.4	18.4 ± 5.7	18.4 ± 5.7	18.4 ± 5.7
U15	28.3 ± 6.6	28.3 ± 6.6	28.3 ± 6.6	31.2 ± 7.4	31.2 ± 7.4	31.2 ± 7.4
U17	41.4 ± 5.8	41.4 ± 5.8	41.4 ± 5.8	45.6 ± 6.5	45.6 ± 6.5	45.6 ± 6.5
CMJ (S × R)		3 × 5		3 × 5		3 × 5
COD (R × T) (s)	3 × 10		3 × 10		4 × 10	
Sprint (R × D) (m)		3 × 20		4 × 20		3 × 20

Exercises	Sessions					
	7	8	9	10	11	12
FS (S × R) (% 1RM _{est})	2 × 6 (55)	3 × 6 (55)	3 × 6 (55)	2 × 4 (60)	3 × 4 (60)	3 × 4 (60)
Load training (kg)						
U13	21.1 ± 7.3	21.1 ± 7.3	21.1 ± 7.3	23.7 ± 8.3	23.7 ± 8.3	23.7 ± 8.3
U15	34.3 ± 8.2	34.3 ± 8.2	34.3 ± 8.2	37.0 ± 8.9	37.0 ± 8.9	37.0 ± 8.9
U17	49.4 ± 6.8	49.4 ± 6.8	49.4 ± 6.8	53.0 ± 7.4	53.0 ± 7.4	53.0 ± 7.4
CMJ (S × R)		3 × 5		3 × 5		3 × 5
COD (R × T) (s)	4 × 10		5 × 10		3 × 10	
Sprint (R × D) (m)		4 × 20		4 × 20		3 × 20

*FS = full squat; S × R = sets × repetitions; 1RM_{est} = estimated one-repetition maximum; U13 = Under 13; U15 = Under 15; U17 = Under 17; CMJ = countermovement jump; COD = changes of directions; R × T = repetitions × duration; R × D = repetitions × distance.

weeks preceding this study, 4 preliminary familiarization sessions were undertaken to ensure a proper execution technique in both full squat and CMJ exercises.

Subjects

Ninety trained young soccer players between 12 and 17 years volunteered for this study. The subjects were recruited from the same academy affiliated with a semiprofessional team in Spanish third division and were competing in the U13 ($n = 30$), U15 ($n = 30$), or U17 ($n = 30$) divisional age groups. After the initial evaluation, the 30 soccer players in each cohort were matched according to their performance in CMJ and then randomly divided into 2 subgroups: those who participated in a strength training program in addition to their routine soccer training (STG) and those who only performed routine soccer training (CG). Only those players who participated in at least 90% of all training sessions were included into statistical analyses. Because of injury or illness, 4 players (two U15 and two U17) missed too many training sessions or were absent from the posttesting session. Thus, 30 players for U13, and 28 for U15 and U17 teams remained for statistical analyses. Player's characteristics are displayed in Table 1. All subjects were soccer trained for more than 2 (U13), 4 (U15), and 6 (U17) years and were injury free for at least 6 months before participating in the present study. Subjects had no experience in weight training and they did not perform

strength training as part of their normal training routine. Coach and parents were informed about the different tests procedures performed during the study. Parental or guardian consent for all players under the age of 18 involved in this investigation were obtained. The study was conducted according to the Declaration of Helsinki and was approved by the Research Ethics Committee of Pablo de Olavide University. The study conforms to the Code of Ethics of the World Medical Association (approved by the ethics advisory board of Swansea University) and players or parents or guardians were required to sign informed consent before participation.

Testing Procedure

Anthropometric measurements were taken before the physical testing. The standing height (centimeters) and body mass (kilograms) were measured. The maturity status of the subjects was determined using years from/to PHV (i.e., maturity offset = $-7.999994 + [0.0036124 \times \text{age} \times \text{height}]$ [$R^2 = 0.896$]) (22) as well as the percentage of predicted adult stature (31). Neuromuscular performance was assessed before and after training using a battery of tests performed in a single session in a fixed sequence as described below. The tests were performed after 48 hours of rest. Testing sessions were performed at the same venue and time of day (± 1 hour) for each subject under the same environmental conditions ($\sim 21^\circ \text{C}$ and $\sim 60\%$ humidity). Strong verbal

TABLE 3. Changes in selected neuromuscular performance variables from pre- to posttraining for both U13 groups (STG vs. CG).^{*†}

Variable	U13 _{STG} (n = 15)			U13 _{CG} (n = 15)		
	Pre	Post	ES (CI 90%)	Pre	Post	ES (CI 90%)
T ₁₀	1.90 ± 0.06	1.84 ± 0.07 ^{‡§}	0.92 (0.35–1.49)	1.86 ± 0.06	1.89 ± 0.08	-0.42 (-0.74 to -0.11)
T _{10–20}	1.48 ± 0.06	1.43 ± 0.05 [¶]	0.91 (0.46–1.35)	1.44 ± 0.07	1.46 ± 0.08	-0.27 (-0.52 to -0.01)
T ₂₀	3.38 ± 0.12	3.29 ± 0.12 [¶]	0.75 (0.31–1.19)	3.31 ± 0.13	3.36 ± 0.14	-0.37 (-0.64 to -0.09)
CMJ	26.6 ± 4.3	29.8 ± 3.9 [¶]	0.78 (0.45–1.11)	28.2 ± 4.8	27.2 ± 4.7 [#]	-0.21 (-0.35 to -0.07)
AV	1.04 ± 0.12	1.32 ± 0.13 [¶]	2.24 (1.42–3.06)	1.08 ± 0.13	1.09 ± 0.11	0.08 (-0.14 to 0.31)
1RM _{est}	38.6 ± 17.9	57.2 ± 15.9 [¶]	1.10 (0.67–1.52)	47.8 ± 14.1	48.5 ± 13.1	0.05 (-0.08 to 0.18)

^{*}STG = strength training group; CG = control group; Pre = initial evaluation; Post = final evaluation; ES = intragroup effect size; CI = confidence interval; T₁₀ = 10-m sprint time; T_{10–20} = 10- to 20-m sprint time; T₂₀ = 20-m sprint time; CMJ = countermovement jump; AV = average velocity attained against all loads common to pre- and posttests; 1RM_{est} = estimated one-repetition maximum.
[†]Data are mean ± SD. The positive ES indicate a positive effect, whereas the negative ES indicate a negative effect.
[‡]Differences intragroups: *p* < 0.01.
[§]Significant group × time interaction: *p* < 0.01.
^{||}Differences intragroups: *p* < 0.001.
[¶]Significant group × time interaction: *p* < 0.001.
[#]Differences intragroups: *p* ≤ 0.05.

encouragement was provided during all tests to motivate subjects to give a maximal effort.

Running Sprints. Two 20-m sprints, separated by a 3-minute rest, were performed in an indoor synthetic running track. Photocell timing gates (Polifemo Radio Light; Microgate, Bolzano, Italy) were placed at 0, 10, and 20 m so that the times to cover 0–10 m (T₁₀), 0–20 m (T₂₀), and 10–20 m (T_{10–20}) could be determined. A standing start with the lead-off foot placed 1 m behind the first timing gate was used.

Subjects were required to give an all-out maximal effort in each sprint and the best of both trials was kept for subsequent analysis. The same warm-up protocol, which incorporated several sets of progressively faster 30-m running accelerations, was followed in the pretest and posttest. The reliability for T₁₀, T₂₀, and T_{10–20} as measured by the coefficient of variation (CV) was 1.74, 1.09 and 1.32%, respectively. The intraclass correlation coefficients (ICC) were 0.95 (95% confidence interval [CI]: 0.88–0.98) for T₁₀, 0.98 (95% CI: 0.94–0.99) for T₂₀, and 0.95 (95% CI: 0.88–0.98) for T_{10–20}.

TABLE 4. Changes in selected neuromuscular performance variables from pre- to posttraining for both U15 groups (STG vs. CG).^{*†}

Variable	U15 _{STG} (n = 14)			U15 _{CG} (n = 14)		
	Pre	Post	ES (CI 90%)	Pre	Post	ES (CI 90%)
T ₁₀	1.78 ± 0.06	1.75 ± 0.06 [‡]	0.50 (0.10–0.90)	1.80 ± 0.08	1.80 ± 0.06	0.00 (-0.35 to 0.35)
T _{10–20}	1.34 ± 0.07	1.32 ± 0.07 ^{‡§}	0.29 (0.11–0.46)	1.33 ± 0.06	1.34 ± 0.05	-0.18 (-0.42 to 0.06)
T ₂₀	3.13 ± 0.11	3.09 ± 0.11 [§]	0.36 (0.15–0.57)	3.14 ± 0.12	3.15 ± 0.10	-0.09 (-0.33 to 0.15)
CMJ	32.4 ± 5.2	35.7 ± 6.1 ^{¶#}	0.58 (0.34–0.82)	33.0 ± 4.0	33.0 ± 3.9	0.00 (-0.12 to 0.12)
AV	1.04 ± 0.11	1.24 ± 0.12 ^{¶#}	1.74 (1.09–2.38)	1.12 ± 0.07	1.14 ± 0.08	0.27 (-0.01 to 0.54)
1RM _{est}	64.0 ± 14.5	81.7 ± 16.6 ^{¶#}	1.14 (0.71–1.56)	73.9 ± 13.8	76.0 ± 14.2	0.15 (-0.10 to 0.40)

^{*}STG = strength training group; CG = control group; Pre = initial evaluation; Post = final evaluation; ES = intragroup effect size; CI = confidence interval; T₁₀ = 10-m sprint time; T_{10–20} = 10- to 20-m sprint time; T₂₀ = 20-m sprint time; CMJ = countermovement jump; AV = average velocity attained against all loads common to pre- and posttests; 1RM_{est} = estimated one-repetition maximum.
[†]Data are mean ± SD. The positive ES indicate a positive effect, whereas the negative ES indicate a negative effect.
[‡]Differences intragroups: *p* ≤ 0.05.
[§]Significant group × time interaction: *p* ≤ 0.05.
^{||}Differences intragroups: *p* < 0.01.
[¶]Differences intragroups: *p* < 0.001.
[#]Significant group × time interaction: *p* < 0.001.

TABLE 5. Changes in selected neuromuscular performance variables from pre- to posttraining for both U17 groups (STG vs. CG).*†

Variable	U17 _{STG} (n = 14)			U17 _{CG} (n = 14)		
	Pre	Post	ES (CI 90%)	Pre	Post	ES (CI 90%)
T ₁₀	1.72 ± 0.06	1.68 ± 0.06‡§	0.67 (0.32 to 1.01)	1.71 ± 0.06	1.71 ± 0.05	0.00 (−0.41 to 0.41)
T _{10–20}	1.26 ± 0.05	1.26 ± 0.04	0.00 (−0.22 to 0.22)	1.25 ± 0.04	1.25 ± 0.05	0.00 (−0.14 to 0.14)
T ₂₀	2.99 ± 0.11	2.95 ± 0.09‡§	0.40 (0.17 to 0.63)	2.96 ± 0.09	2.98 ± 0.09	−0.22 (−0.53 to 0.08)
CMJ	37.8 ± 5.1	40.0 ± 5.6§	0.41 (0.14 to 0.68)	37.2 ± 4.1	37.9 ± 4.03	0.17 (0.08 to 0.26)
AV	1.18 ± 0.07	1.27 ± 0.10¶	1.04 (0.61 to 1.48)	1.15 ± 0.11	1.22 ± 0.10	0.67 (0.29 to 1.04)
1RM _{est}	91.2 ± 12.9	103.5 ± 17.3§¶	0.81 (0.49 to 1.12)	84.0 ± 20.6	88.5 ± 18.5‡	0.23 (0.03 to 0.43)

*STG = strength training group; CG = control group; Pre = initial evaluation; Post = final evaluation; ES = intragroup effect size; CI = confidence interval; T₁₀ = 10-m sprint time; T_{10–20} = 10- to 20-m sprint time; T₂₀ = 20-m sprint time; CMJ = countermovement jump; AV = average velocity attained against all loads common to pre- and posttests; 1RM_{est} = estimated one-repetition maximum.

†Data are mean ± SD. The positive ES indicate a positive effect, whereas the negative ES indicate a negative effect.

‡Differences intragroups: $p \leq 0.05$.

§Significant group × time interaction: $p \leq 0.05$.

||Differences intragroups: $p < 0.01$.

¶Differences intragroups: $p < 0.001$.

Vertical Jump. The height of the jump was measured with an infrared timing system (Optojump; Microgate). Each player performed 5 maximal jumps with their hands on their hips separated by 45-second rest. The highest and lowest values were discarded, and the resulting mean value was kept for analysis. The warm-up consisted of 2 sets of 10 repetitions of squat without extra load and 1 set of 5 CMJs. The CV was 1.79% and the ICC was 0.99 (95% CI: 0.98–1.00).

Isoinertial Squat Loading Test. A Smith machine (Multipower Fitness Line; Peroga, Murcia, Spain) was used for the isoinertial test. A detailed description of the testing procedures used in this study has recently been reported elsewhere (10). The players performed the full squat from an upright position, descending at a controlled velocity and ascending at maximal velocity. The initial load was set at 17 kg (for U13 soccer players) or 20 kg (for U15 and U17 soccer players), and was progressively increased in 2–5 kg (for U13 soccer players) or 5–10 kg (for U15 and U17 soccer players) increments until the attained mean propulsive velocity was $\sim 1.00 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (range: $0.96\text{--}1.04 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$) (10). The subjects performed 3 repetitions with each load. The interset recovery time was 3 minutes. Warm-up consisted of 5 minutes of joint mobilization exercises, followed by 2 sets of 6 repetitions (3 minutes rest) with 10 kg. A linear velocity transducer (T-Force System; Ergotech, Murcia, Spain) was used to register bar velocity. The following variables derived from this test were used for analysis: (a) estimated 1RM (1RM_{est}) calculated for each individual from the mean propulsive velocity attained against the heaviest load (kilogram) lifted in the progressive loading test, as following: $(100 \times \text{load}) / (-2.185 \times \text{mean propulsive velocity}^2)$

$-(61.53 \times \text{mean propulsive velocity}) + 122.5$ ($R^2 = 0.96$; SEE = 5.5%) (28) and (b) average mean propulsive velocity attained against all absolute loads common to pre- and posttests (AV) (23).

Strength Training Program

Training groups trained twice a week on nonconsecutive days (Monday and Thursday), for a period of 6 weeks using free-weight full squat combined with jumps, sprints, and changes of direction. These training sessions lasted ~ 35 minutes. Table 2 shows in detail the characteristics of the training program. Exercises were performed in the same order in which they appear in such table (e.g., in session 2, training exercises were performed in the following order: full squat, CMJ, and sprint), and all training sets of an exercise had to be completed before performing the following training exercise. The loads used by each player in full squat exercise were assigned according to 1RM_{est} in the initial isoinertial squat loading test. Thus, relative intensity of the squat exercise progressively increased from $\sim 45\%$ to $\sim 60\%$ 1RM. The full squat training was combined with vertical jumps to box (50, 60, 70, or 80 cm high), linear sprint of 20 m, and displacements with changes of direction. To perform this exercise, players were placed within a square of 8 m side length. Within this area, the subjects had to perform displacements at maximum speed, changing direction (forward, backward, left, and right provided in a random order) according to researcher/coach indications for 10 seconds. Approximately 3-minute rest periods were allowed between each set and each exercise. Previous studies have used similar training programs (8,10,26). The subjects were instructed to perform all exercises as fast as possible to obtain the highest possible gains (23). At least

TABLE 6. Changes in selected neuromuscular performance variables from pre- to posttest between experimental groups.*†

	Changes observed for post- vs. pretest			
	<i>p</i> between groups	Standardized differences (Cohen: 90% CI)	Percent changes of better/trivial/worse effect	Quantitative assessment
T₁₀				
U13 vs. U15	0.704	0.23 (−0.21 to 0.68)	55/40/5	Unclear
U13 vs. U17	0.851	0.14 (−0.19 to 0.46)	37/58/4	Possibly
U15 vs. U17	0.993	−0.06 (−0.45 to 0.33)	28/60/13	Unclear
T_{10–20}				
U13 vs. U15	0.017	0.34 (0.12 to 0.55)	86/14/0	Likely
U13 vs. U17	0.000	0.43 (0.27 to 0.60)	99/1/0	Very Likely
U15 vs. U17	0.101	0.31 (0.11 to 0.51)	83/17/0	Likely
T₂₀				
U13 vs. U15	0.127	0.29 (0.02 to 0.55)	71/29/0	Possibly
U13 vs. U17	0.112	0.22 (0.02 to 0.42)	57/43/0	Possibly
U15 vs. U17	1.00	0.02 (−0.19 to 0.23)	7/88/5	Likely Trivial
CMJ				
U13 vs. U15	0.772	0.10 (−0.11 to 0.32)	22/76/1	Likely Trivial
U13 vs. U17	0.058	0.26 (0.06 to 0.46)	69/31/0	Possibly
U15 vs. U17	0.306	0.25 (0.01 to 0.49)	63/37/0	Possibly
AV				
U13 vs. U15	0.081	0.53 (0.07 to 0.99)	89/11/1	Likely
U13 vs. U17	0.000	1.41 (1.00 to 1.82)	100/0/0	Most Likely
U15 vs. U17	0.001	0.90 (0.58 to 1.22)	100/0/0	Most Likely
1RM_{est}				
U13 vs. U15	0.001	0.43 (0.18 to 0.67)	94/6/0	Likely
U13 vs. U17	0.000	0.54 (0.36 to 0.72)	100/0/0	Most Likely
U15 vs. U17	0.027	0.44 (0.26 to 0.63)	98/2/0	Very Likely

*Pre = initial evaluation; Post = final evaluation; CI = confidence interval; T₁₀ = 10-m sprint time; U13 = under-13 group (*n* = 15); U15 = under-15 group (*n* = 15); U17 = under-17 group (*n* = 14); T_{10–20} = 10- to 20-m sprint time; T₂₀ = 20-m sprint time; CMJ = countermovement jump height; AV = average velocity attained against all loads common to pre- and posttests; 1RM_{est} = estimated one-repetition maximum.

†All differences are presented as improvements for the first group compared with the second group (i.e., U13 vs. U15), so that negative and positive differences are in the same direction.

2 trained researchers supervised each workout session and recorded the compliance and individual workout data during each training session. In all sessions, warm-up consisted of 5 minutes of jogging and 3 minutes of joint mobilization

exercises. Then, participants performed 1 set of 8 repetitions followed by 1 set of 6 repetitions (separated by 3-minute rests) of full squat exercise with lower loads at maximal scheduled load in each session.

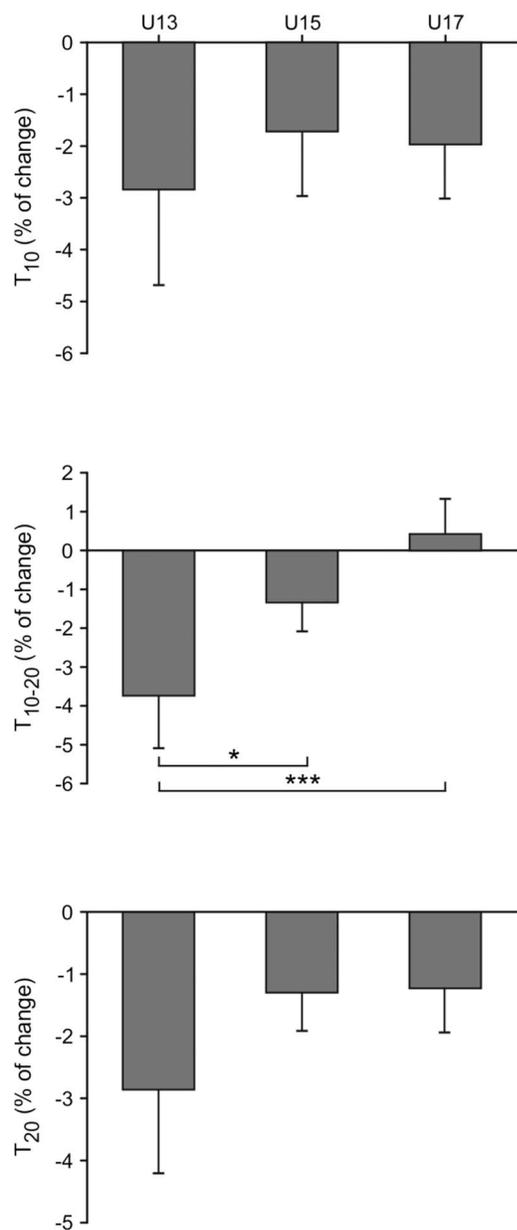


Figure 1. Relative changes in sprint performance (T_{10} , T_{10-20} , and T_{20}) after a 6-week training intervention in U13, U15, and U17 experimental groups. Significant differences between groups: * $p \leq 0.05$, *** $p < 0.001$. T_{10} = 10-m sprint time; T_{10-20} = 10- to 20-m sprint time; T_{20} = 20-m sprint time.

Statistical Analyses

The values are expressed as mean \pm SD. Homogeneity of variance across groups (CG vs. STG) for all categories and across experimental groups (STG_{U13} vs. STG_{U15} vs. STG_{U17}) was verified using the Levene test, whereas the normality of distribution of the data was examined with the Kolmogorov-Smirnov test. A 2 (group: CG, STG) \times

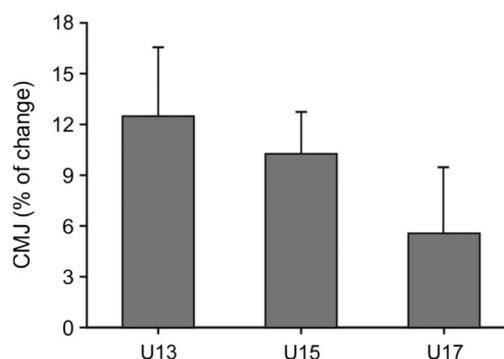
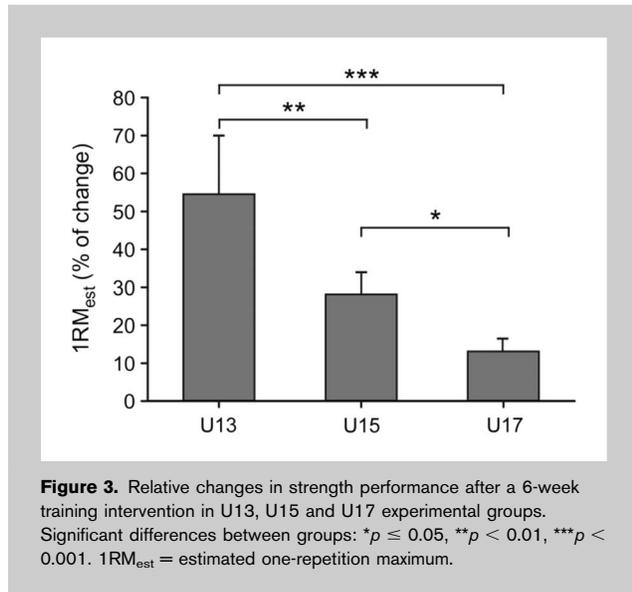


Figure 2. Relative changes in countermovement jump (CMJ) test results after a 6-week training intervention in U13, U15, and U17 experimental groups.

2 (time: Pre, Post) repeated measures analysis of variances (ANOVA) was calculated for each parameter to analyze the intra- and between-group differences within each age group (U13, U15, U17). A one-way ANOVA was conducted to examine differences between STGs with Gabriel post hoc comparisons (STG_{U13} vs. STG_{U15} vs. STG_{U17}). In addition to this null hypothesis testing, the data were assessed for clinical significance using an approach based on the magnitudes of change (14). The effect sizes (ES) were calculated using Hedge g (11) to estimate the magnitude of the training effect on the selected neuromuscular variables within each group, as follows: $g = (\text{mean STG} - \text{mean CG}) / \text{combined SD}$. The standardized difference for changes between the STGs (STG_{U13} vs. STG_{U15} vs. STG_{U17}) in each dependent variable was calculated on log-transformed values using the pooled pre-training SD (14). Probabilities were also calculated to establish whether the true (unknown) differences were lower, similar, or higher than the smallest worthwhile difference or change (0.2 multiplied by the between-subject SD (14)). Quantitative chances of higher or lower differences were evaluated qualitatively as follows: <1%, almost certainly not; 1–5%, very unlikely; 5–25%, unlikely; 25–75%, possible; 75–95%, likely; 95–99%, very likely; >99%, almost certain. If the chances of having higher or lower values than the smallest worthwhile difference were both >5%, the true difference was assessed as unclear. Inferential statistics based on interpretation of magnitude of effects were calculated using a purpose-built spreadsheet for the analysis of controlled trials (13). The statistical analyses were performed using SPSS software version 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Statistical significance was established at the $p \leq 0.05$ level.

RESULTS

Data for all variables analyzed were homogeneous and normally distributed ($p > 0.05$). No significant differences



between groups (STG vs. CG) were found at pretest in any age group (U13, U15, and U17). Compliance with the training program for U13, U15, and U17 training groups was 95.7, 93.3, and 92.8%, respectively. Mean values and intragroup ES for all variables analyzed are reported in Table 3 (U13), Table 4 (U15), and Table 5 (U17). Comparisons of the changes in the experimental groups (STG_{U13} vs. STG_{U15} vs. STG_{U17}) are presented in Table 6.

Significant ($p \leq 0.05$) “time \times group” interactions were observed in favor of the STGs for the different age groups for all variables, except in T_{10} for U15 and AV and T_{10-20} for U17. The training period resulted in significant ($p \leq 0.05$) improvements in all measured variables for STG groups, except for STG_{U17} in T_{10-20} ($p = 0.37$), whereas of the CGs, only the CG_{U17} showed a significant increase in AV ($p < 0.01$) and 1RM_{est} ($p \leq 0.05$). Analysis of intragroup ES and percentage change showed substantial improvements in favor of STGs compared with CGs in all variables for all age groups. Comparisons between experimental groups showed significantly ($p < 0.001$) higher enhancements for STG_{U13} compared with STG_{U17} in T_{10-20} , AV and 1RM_{est}, and a *possibly* more favorable effect in the rest of the variables (Table 6 and Figures 1–3). The STG_{U13} showed significantly greater improvements in T_{10-20} ($p \leq 0.05$) and 1RM_{est} ($p < 0.001$) and a *possibly* and *likely* better effect in T_{20} and AV, respectively, compared with STG_{U15}. In addition, STG_{U15} presented significantly ($p \leq 0.05$) higher enhancements than STG_{U17} in both strength variables ($p < 0.001$ and $p \leq 0.05$ for 1RM_{est} and AV, respectively), and a *likely* and *possibly* more favorable effect than STG_{U17} in T_{20} and CMJ, respectively.

DISCUSSION

To the best of our knowledge, this is the first study that analyzed the effect of short-term weight training with low

loads and low volume combined with plyometrics on physical performance in soccer players of different ages (U13, U15, and U17). Overall, the results of the present study showed that: (a) all STGs obtained significant and practical greater improvements in strength, jump, and sprint performance than the corresponding CGs; and (b) the percentage change in the assessed variables in response to a given training stimulus progressively decreased as the ages of soccer players increased. Therefore, our results reinforce our hypothesis that adding high-speed strength training program to typical field soccer training may be an effective strategy to enhance muscular strength and other factors critical to soccer performance, irrespective of age. However, improvements in physical performance appear to be dependent on players’ age and initial strength levels.

After the training period, STG_{U13} and STG_{U15} showed significant increments in all assessed variables compared with CG_{U13} and CG_{U15}, respectively, whereas the differences between STG and CG in the U17 soccer players were most notable in sprint time and maximal strength (Tables 3–5). In accordance with our results, previous studies have also reported similar increases in maximal strength, jump, and sprint performance (3,5,8,10,26,27,32) after weight training or combined weight training and plyometrics programs with similar duration and training frequency among soccer players of different ages. However, other studies (5,15,27) conducted with moderate to high loads (60–90% 1RM), repetitions per set at or near to muscle failure (8–15 repetitions), and short rest periods between sets (1–2 minutes) have failed to show significant changes in sport-related performance, particularly in sprint time. These results agree with a recent meta-analysis, which reported that average high-intensity resistance training resulted in lesser sprint ES (ES = -0.52) than lower loads (ES = -0.97) (30). Because sprinting requires a high rate of propulsive force production and rapid movement, these findings are probably explained by the principle of training specificity, as resistance training with high loads and a high number of repetitions per set results in low contraction velocities and greater stress, resulting in a smaller improvement in sprint performance (30). Similarly, because neuromuscular adaptation depends on the characteristics of specific training stimuli, it seems that the incorporation of resistance training with light loads, performing each repetition at the maximal intended velocity along with other horizontal exercises, are needed to ensure increased speed and acceleration. Therefore, our results reinforce the need to add explosive strength training to soccer training programs to further improve the physical condition of young players.

Although the strength training program was beneficial for all groups, the effects of training were reduced as chronological age increased. Thus, U13 soccer players showed greater intragroup ESs and percentage changes than U15 and U17 soccer players in all measured variables. The differences between U15 and U17 were mainly relevant in

jump and strength variables (Table 6 and Figures 1–3). The changes in strength variables in the present study are in contrast with a previous meta-analysis (1), which reported that interpubertal and postpubertal subjects were more likely to increase strength levels after resistance training ($ES = 1.91$) compared with prepubertal children ($ES = 0.81$). However, studies examining the effect of chronological age or maturation on strength performance are scarce (16,20,25,29,34) and show conflicting results. In this regard, previous reported results generally range from no differences in strength gains between different ages training groups (16,25) to a greater percentage of change in post-PHV subjects compared with pre- and mid-PHV subjects in response to a given training stimulus (20,34). The discrepancy with our results may be explained by the training background (which is associated with the baseline level of strength) as the subjects in most of these studies were considered untrained, whereas in the present study the subjects were players with soccer training experience of at least 2–6 years, which could have a direct influence (7). Interestingly, the only study conducted with soccer players of similar age groups to those in the current study (U13, U15, and U17) showed comparable results, with greater strength improvements in younger players than older ones (29). In addition to training experience, differences in strength gains between age groups may be also because of several factors, including the age range of subjects, training program designs, muscle group/action assessed, and exercises/assessments used. Therefore, although our results agree with those studies that indicate strength gains are related to baseline level of strength and the chronological ages of subjects (7), it appears that further research examining strength gains against biological age are required to determine whether an optimal window of strength trainability does exist. In addition, research should also focus on the training variables (e.g., volume, frequency, load, lifting velocity, rest periods, and type of exercise) for optimum strength training gains in children and adolescents (7).

With respect to jump and sprint performance, the results of the present study showed a similar trend to strength variables, with lower levels of improvement as chronological age increased (Figures 1 and 2). Since jump and sprint performance has a close relationship with maximal strength (8,26,35), the smaller improvement in both variables that occurred in older compared with younger soccer players could be due, at least in part, to the lower strength gains shown by older players. In line with our results, a recent meta-analysis of the effects of strength training on motor performance skills in children and adolescents revealed a significant negative correlation coefficient for the age of subjects with the magnitude of the ES , indicating that strength training produces more beneficial effects on jump and sprint in younger subjects. Indeed, unlike strength performance, most studies analyzing the impact of various chronological ages on changes in motor performance following a strength

training program (9,16,29) have shown superior gains in younger compared with older individuals, although some others (17,20) have found mixed results depending on the variable assessed and the strength training method used. For example, Lloyd et al. (17) compared the effect of 6-week training interventions using different strength training modes (heavy-load weight training, plyometric training, and combined training) on sprinting and jumping performance in boys pre- and post-PHV. The results of this study (17) showed that: (a) plyometric training produced a greater magnitude of change in both sprint and jump variables for pre-PHV compared with post-PHV individuals; (b) heavy-load weight training and combined training resulted in greater beneficial effects on sprint time (mainly in T_{10}) for post-PHV than pre-PHV, whereas the effect on jump performance was the opposite. These results suggest that the training method used is a key factor in determining training-induced adaptations in individuals at different maturity stages, and therefore, it is possible that each age group needs a different training stimulus to maximize their physical development. Such training stimuli should be related to the stage of individual neuromuscular maturity. In this regard, the greater general skill and movement ability of older compared with younger soccer players could make it more difficult to achieve performance enhancements after short-term interventions. Thus, according to Lloyd et al. (17) and the results of the present study, it appears that younger individuals need a lower training load to obtain large improvements in physical performance, whereas the training load should be progressively increased with chronological age or maturity status to permit further improvements.

In summary, all STGs achieved greater improvements in jump, sprint, and strength performance than the CGs, regardless of age of soccer players. However, the gains obtained in sprint, jump, and strength after strength training were different for each age group, with lower improvements in these variables as chronological age increased. Therefore, although the results of the present study suggest that a low-load and low-volume weight training combined with plyometrics is an effective training method to improve physical performance in soccer players of different ages, these findings appear to indicate that factors related to jump, sprint, and strength may develop at different rates for different individuals undertaking the same training program. The changes in these variables may be linked to age, training background (initial strength performance), and general skill ability. Thus, training programs should be modified to accommodate differences in several factors such as chronological age, maturation, movement ability, training experience, and baseline muscle strength level.

PRACTICAL APPLICATIONS

Regardless of the age of the soccer players, weight training with low loads and lifting the load at maximal voluntary velocity combined with plyometrics involves an effective

stimulus that produces greater improvements in actions fundamental to soccer performance than those generated by specific soccer practice, without the need to perform repetitions to muscle failure. However, it appears that training characteristics (mainly volume, intensity, and type of exercise) should be modified in relation to chronological age, maturity status, and strength training experience. In addition, considering that resistance training applied in this study has a short duration and low frequency, it can be easily integrated into the normal technical-tactical field soccer training.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors greatly appreciate the commitment and dedication of all subjects of this study for having performed the maximum effort in each of the training sessions. The authors have no professional relationships with companies or manufacturers that might benefit from the results of this study. There was no financial support for this project. The results of this study do not constitute endorsement of any product by the authors or by the National Strength and Conditioning Association.

REFERENCES

- Behringer, M, Vom Heede, A, Yue, Z, and Mester, J. Effects of resistance training in children and adolescents: A meta-analysis. *Pediatrics* 126: e1199–e1210, 2010.
- Beunen, G and Malina, RM. Growth and physical performance relative to the timing of the adolescent spurt. *Exerc Sport Sci Rev* 16: 503–540, 1988.
- Bogdanis, GC, Papaspyrou, A, Souglis, A, Theos, A, Sotiropoulos, A, and Maridaki, M. Effects of hypertrophy and a maximal strength training program on speed, force and power of soccer players. In: *Proceedings of the 6th World Congress on Science and Football*. Reilly, T, Korkusuz, F, eds. New York, NY: Routledge, 2009. pp. 290–295.
- Bogdanis, GC, Papaspyrou, A, Souglis, AG, Theos, A, Sotiropoulos, A, and Maridaki, M. Effects of two different half-squat training programs on fatigue during repeated cycling sprints in soccer players. *J Strength Cond Res* 25: 1849–1856, 2011.
- Chelly, MS, Fathloun, M, Cherif, N, Ben Amar, M, Tabka, Z, and Van Praagh, E. Effects of a back squat training program on leg power, jump, and sprint performances in junior soccer players. *J Strength Cond Res* 23: 2241–2249, 2009.
- Chelly, MS, Ghenem, MA, Abid, K, Hermassi, S, Tabka, Z, and Shephard, RJ. Effects of in-season short-term plyometric training program on leg power, jump- and sprint performance of soccer players. *J Strength Cond Res* 24: 2670–2676, 2010.
- Ford, P, De Ste Croix, M, Lloyd, R, Meyers, R, Moosavi, M, Oliver, J, Till, K, and Williams, C. The long-term athlete development model: Physiological evidence and application. *J Sports Sci* 29: 389–402, 2011.
- Franco-Marquez, F, Rodriguez-Rosell, D, Gonzalez-Suarez, JM, Pareja-Blanco, F, Mora-Custodio, R, Yanez-Garcia, JM, and Gonzalez-Badillo, JJ. Effects of combined resistance training and plyometrics on physical performance in young soccer players. *Int J Sports Med* 36: 906–914, 2015.
- Gabbett, TJ, Johns, J, and Riemann, M. Performance changes following training in junior rugby league players. *J Strength Cond Res* 22: 910–917, 2008.
- Gonzalez-Badillo, JJ, Pareja-Blanco, F, Rodriguez-Rosell, D, Abad-Herencia, JL, Del Ojo-Lopez, JJ, and Sanchez-Medina, L. Effects of velocity-based resistance training on young soccer players of different ages. *J Strength Cond Res* 29: 1329–1338, 2015.
- Hedges, LV and Olkin, IO. *Statistical Methods for Meta-Analysis*. Orlando, FL: Academic Press, 1985.
- Hoff, J and Helgerud, J. Endurance and strength training for soccer players: Physiological considerations. *Sports Med* 34: 165–180, 2004.
- Hopkins, WG. *Analysis of a Pre-Post Controlled Trial (Excel Spreadsheet)*. 2006. Available at: newstats.org/xParallelGroupTrial.xls. Accessed February 10, 2012.
- Hopkins, WG, Marshall, SW, Batterham, AM, and Hanin, J. Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc* 41: 3–13, 2009.
- Kotzamanidis, C, Chatzopoulos, D, Michailidis, C, Papaikakou, G, and Patikas, D. The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res* 19: 369–375, 2005.
- Lillegard, WA, Brown, EW, Wilson, DJ, Henderson, R, and Lewis, E. Efficacy of strength training in prepubescent to early postpubescent males and females: Effects of gender and maturity. *Pediatr Rehabil* 1: 147–157, 1997.
- Lloyd, RS, Radnor, JM, De Ste Croix, MB, Cronin, JB, and Oliver, JL. Changes in sprint and jump performance following traditional, plyometric and combined resistance training in male youth pre- and post-peak height velocity. *J Strength Cond Res* 30: 1239–1247, 2016.
- Malina, RM, Bouchard, C, and Bar-Or, O. *Growth, Maturation, and Physical Activity*. Champaign, IL: Human Kinetics, 2004.
- Meylan, C and Malatesta, D. Effects of in-season plyometric training within soccer practice on explosive actions of young players. *J Strength Cond Res* 23: 2605–2613, 2009.
- Meylan, CM, Cronin, JB, Oliver, JL, Hopkins, WG, and Contreras, B. The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11–15-year-olds. *Scand J Med Sci Sports* 24: e156–e164, 2014.
- Mohr, M, Krstrup, P, and Bangsbo, J. Match performance of high-standard soccer players with special reference to development of fatigue. *J Sports Sci* 21: 519–528, 2003.
- Moore, SA, McKay, HA, Macdonald, H, Nettlefold, L, Baxter-Jones, AD, Cameron, N, and Brasher, PM. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Med Sci Sports Exerc* 47: 1755–1764, 2015.
- Pareja-Blanco, F, Rodriguez-Rosell, D, Sanchez-Medina, L, Gorostiaga, EM, and Gonzalez-Badillo, JJ. Effect of movement velocity during resistance training on neuromuscular performance. *Int J Sports Med* 35: 916–924, 2014.
- Perez-Gomez, J, Olmedillas, H, Delgado-Guerra, S, Ara, I, Vicente-Rodriguez, G, Ortiz, RA, Chavarren, J, and Calbet, JA. Effects of weight lifting training combined with plyometric exercises on physical fitness, body composition, and knee extension velocity during kicking in football. *Appl Physiol Nutr Metab* 33: 501–510, 2008.
- Pfeiffer, R and Francis, R. Effects of strength training on muscle development in prepubescent, pubescent and postpubescent males. *Phys Sportsmed* 14: 134–143, 1986.
- Rodriguez-Rosell, D, Franco-Marquez, F, Pareja-Blanco, F, Mora-Custodio, R, Yanez-Garcia, JM, Gonzalez-Suarez, JM, and Gonzalez-Badillo, JJ. Effects of 6-weeks resistance training combined with plyometric and speed exercises on physical performance of pre-peak height velocity soccer players. *Int J Sports Physiol Perform* 11: 240–246, 2016.
- Rønnestad, BR, Kvamme, NH, Sundé, A, and Raastad, T. Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res* 22: 773–780, 2008.
- Sánchez-Medina, L, García-Pallarés, J, Pérez, CE, Fernandes, J, and Gonzalez-Badillo, JJ. Estimation of relative load from mean velocity in the full squat exercise. In: *Proceedings of the 16th Annual Congress of the European College of Sports Science*. Cable, NT, George, K, eds. Liverpool, United Kingdom: Liverpool John Moores University, 2011. pp. 669.

29. Sander, A, Keiner, M, Wirth, K, and Schmidtbleicher, D. Influence of a 2-year strength training program on power performance in elite youth soccer players. *Eur J Sport Sci* 13: 445–451, 2013.
30. Seitz, LB, Reyes, A, Tran, TT, Saez de Villarreal, E, and Haff, GG. Increases in lower-body strength transfer positively to sprint performance: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med* 44: 1693–1702, 2014.
31. Sherar, LB, Mirwald, RL, Baxter-Jones, AD, and Thomis, M. Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *J Pediatr* 147: 508–514, 2005.
32. Silva, JR, Nassis, GP, and Rebelo, A. Strength training in soccer with a specific focus on highly trained players. *Sports Med Open* 1: 1, 2015.
33. Stolen, T, Chamari, K, Castagna, C, and Wisloff, U. Physiology of soccer: An update. *Sports Med* 35: 501–536, 2005.
34. Vrijens, J. Muscle development in the pre and post pubescent age. *Med Sport* 11: 152–158, 1978.
35. Wisloff, U, Castagna, C, Helgerud, J, Jones, R, and Hoff, J. Strong correlation of maximal squat strength with sprint performance and vertical jump height in elite soccer players. *Br J Sports Med* 38: 285–288, 2004.