

Selected Papers from Impact

Adaptaciones de la Fuerza Explosiva y de la Resistencia en Jugadores de Fútbol de Élite Jóvenes Durante dos Temporadas de Fútbol

Explosive Strength and Endurance Adaptations in Young Elite Soccer Players During Two Soccer Seasons

Riccardo Di Giminiani¹ y Christiano Visca¹

¹Laboratory of Biomechanics of the Musculoskeletal System and Motion Analysis-Department of Biotechnological and Applied Clinical Sciences, University of L'Aquila, Italy

RESUMEN

El propósito de este estudio fue investigar las adaptaciones de la fuerza explosiva y de la resistencia en jugadores de fútbol de élite jóvenes que fueron sometido a un programa de entrenamiento supervisado para un período de dos años. Diecinueve jugadores, con siete años de experiencia de entrenamiento (edad: 13.3 ± 0.1 años; peso corporal: 57.9 ± 4.9 kg; altura: 168.9 ± 4.7 cm; BMI: 20.1 ± 1.1 kg/m²), voluntariamente participaron en el presente estudio. Las sesiones de prueba se realizaron al principio del período de la preparación en el primer (T1), segundo (T2), y tercer año (T3). Las siguientes variables del rendimiento fueron medidas: la fuerza explosiva [salto desde sentadilla (SJ) y salto con contramovimiento (CMJ)], aumento del pre-estiramiento (CMJ-SJ), rigidez de las piernas [test de rebote (HT)], rendimiento de sprint corto [15 m (SSP15) y 30 m (SSP30)], resistencia aeróbica [test de Leger (VO₂máx)], frecuencia cardíaca máxima [en el último estadio de Leger (FC)], y resistencia de la fuerza-velocidad [saltos con contramovimiento continuos (CCMJ)]. Un efecto principal significativo sobre el VO₂máx (+5.72%; $F(2.49) = 3.822$; $p = 0.029$; ES = 1.00), FC (-1.70%; $F(2.54) = 3.472$; $p = 0.038$; ES = 0.97), CCMJ (+7.64%; $F(2.54) = 5.438$; $p = 0.007$; ES = 1.15), SJ (+10.26%; $F(2.54) = 15.254$; $p = 0.0001$; ES = 1.53), CMJ (+7.36%; $F(2.54) = 8.270$; $p = 0.001$; ES = 1.33), HT (+8.34%; $F(2.48) = 3.297$; $p = 0.046$; ES = 1.01), SSP15 (-3.50%; $F(2.44) = 12.760$; $p = 0.0001$; ES = 1.53), y SSP30 (-4.44%; $F(2.44) = 5.797$; $p = 0.006$; ES = 1.16) se observó en las dos temporadas de fútbol. Estos resultados muestran que, en el entrenamiento a largo plazo, el monitoreo de las respuestas adaptativas respecto a la carga de entrenamiento puede proveer una pauta para optimizar la entrenabilidad de algunas variables del rendimiento en jugadores de fútbol de élite jóvenes (13-15 años). En el presente estudio, nosotros no podemos excluir la influencia del crecimiento y la maduración en algunas variables del rendimiento; por lo tanto, las respuestas adaptativas monitoreadas deben ser consideradas como posibles resultados de una interacción entre la carga de entrenamiento aplicada y la maduración.

Palabras Clave: Fuerza explosiva, resistencia, fútbol, jóvenes

ABSTRACT

The purpose of the present study was to investigate the explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players who underwent a supervised training program for a period of two years. Nineteen players, with seven years of training experience (age: 13.3 ± 0.1 years; body weight: 57.9 ± 4.9 kg; height: 168.9 ± 4.7 cm; BMI: 20.1 ± 1.1 kg/m²), voluntarily participated in the present study. The testing sessions were performed at the beginning of the preparation period in the first (T1), second (T2), and third year (T3). The following performance variables were measured: explosive strength [squat-jump (SJ) and counter-movement-jump (CMJ)], pre-stretch augmentation (CMJ-SJ), leg stiffness [hopping test (HT)], short sprint performance [15 m (SSP15) and 30 m (SSP30)], aerobic endurance [test of Leger (VO2max)], maximal heart rate [at the last step of Leger (HR)], and speed-strength endurance [continuous counter-movement-jumps (CCMJ)]. A significant main effect on the VO2Max (+5.72%; $F(2.49) = 3.822$; $p = 0.029$; ES = 1.00), HR (-1.70%; $F(2.54) = 3.472$; $p = 0.038$; ES = 0.97), CCMJ (+7.64%; $F(2.54) = 5.438$; $p = 0.007$; ES = 1.15), SJ (+10.26%; $F(2.54) = 15.254$; $p = 0.0001$; ES = 1.53), CMJ (+7.36; $F(2.54) = 8.270$; $p = 0.001$; ES = 1.33), HT (+8.34%; $F(2.48) = 3.297$; $p = 0.046$; ES = 1.01), SSP15 (-3.50%; $F(2.44) = 12.760$; $p = 0.0001$; ES = 1.53), and SSP30 (-4.44%; $F(2.44) = 5.797$; $p = 0.006$; ES = 1.16) was observed in the two soccer seasons. These results highlight that, in long-term training, the monitoring of the adaptive responses in relation to the training load may provide a guideline to optimize the trainability of some performance variables in young elite soccer players (13-15 years). In the present study, we cannot exclude the influence of growth and maturation on some performance variables; therefore, the monitored adaptive responses should be considered as the possible results of an interaction between the applied training load and maturation.

Keywords: Explosive strength, endurance, soccer, youth

INTRODUCCIÓN

Los jugadores de fútbol realizan una gran variedad de ejercicios balísticos distinguidos desde un punto de vista de la cinemática por altas velocidades y aceleraciones a lo largo del movimiento entero [1] (es decir, saltar, remates, sprint, cambios de ritmo y de dirección) [2] que, dado los diferentes componentes circunstanciales, son afectados por factores externos como la presencia de adversarios, las características de la superficie de juego, y las condiciones de tiempo ambiental. Por lo tanto, el rendimiento es afectado por factores internos y externos [2].

Harley y cols. [3] dirigieron un análisis del partido en jugadores de fútbol jóvenes (12-16 años de edad), investigando distintas distancias cubiertas en relación a los niveles de intensidad; la distancia cubierta total y la distancia a alta intensidad (4.0-5.5 m•seg⁻¹) y a muy alta intensidad (5.5-7.0 m•seg⁻¹) durante un partido oficial. Sus resultados demostraron que los jugadores en el grupo sub 16 (U16) cubrieron distancias mayores que los jugadores de los grupos U12-U13-U14, en todas las distancias analizadas. Sin embargo, la distancia cubierta total por los jugadores de fútbol jóvenes fue inferior que la observada en los adultos [4]

Las distintas distancias, cubiertas a intensidades diferentes, pueden estimar los sistemas aeróbicos y anaeróbicos, ya que el fútbol es un deporte que se caracteriza por períodos intermitentes de alta velocidad y baja velocidad. Los jugadores de fútbol de élite, durante un partido, pueden ejecutar aproximadamente 10 km a una intensidad promedio cerca de su umbral anaeróbico (80-90% de la frecuencia cardíaca máxima) [2]. Considerando la duración del partido (70-90 minutos) y los valores de consumo de oxígeno máximo (VO2máx, 64.3 mL•kg⁻¹•min⁻¹), un partido de fútbol parece ser dependiente del sistema aeróbico [5]. En el último estudio, el valor promedio del VO2máx en jugadores de elite jóvenes fue de 64.3 mL•kg⁻¹•min⁻¹, con un valor máximo de 73.9 mL•kg⁻¹•min⁻¹. Stoyer y cols. [6] encontraron que los valores del VO2máx difirieron respecto al puesto individual de cada jugador (defensor/atacante/mediocampista). En suma, Tomlin y cols. [7] resaltaron que los jugadores con un consumo de VO2 superior durante un partido también tenían una concentración del lactato sanguíneo inferior debido a su capacidad superior de remover el lactato durante el ejercicio intermitente de alta intensidad.

La intensidad promedio en los jugadores jóvenes durante un partido de fútbol, en un rango de tamaño regular, va de 165 a 171 lat•min⁻¹, aproximadamente el 85% de la FC máxima [5]. Esta intensidad es similar a la de un adulto (80-90% de la FC máxima), con valores de frecuencia ligeramente más altos debido a una frecuencia cardíaca máxima superior que es dependiente de la edad [8].

Durante un partido de fútbol, los jugadores jóvenes realizan aproximadamente 10-15 segundos de sprints (5, 10, y 20 m) cada 90 segundos del partido (11% del partido total) [2]. Baker y Nance [9] y Comfort y cols. [10, 11] encontraron una

correlación positiva entre el rendimiento de los sprint, el salto desde sentadilla, y la fuerza máxima (1 MR durante una sentadilla con barra atrás). Similarmente, los jugadores jóvenes que se entrenaron para la fuerza máxima (usando el press de piernas) mejoraron su rendimiento de salto y de sprint [12, 13]. Los dos últimos estudios mostraron mejoras en el salto del 9.4% (salto desde sentadilla) al 7.4% (salto con contramovimiento) en los de diecisiete años [12] y del 12.9% (salto desde sentadilla) al 13.44% (salto con contramovimiento) en los de doce años y en los de quince años [13] durante un período de entrenamiento de 8 semanas. En suma, los jugadores de fútbol de 17 años aumentaron su velocidad en el rendimiento de sprint corto por 11.9% (40 m) y los de 12 y 15 años redujeron su tiempo de sprint por 3.3% (30 m). Las mayores mejoras, reportadas por Christou y cols. [13], en la sentadilla y en el salto con contramovimiento, podrían explicarse parcialmente (ya que otros factores podrían estar involucrados) por la ventana óptima de entrenabilidad en los niños de doce y quince años, que en cambio dependen de la fase de maduración y desarrollo de los procesos fisiológicos involucrados en la fuerza explosiva. Durante la fase puberal, el aumento exponencial en la fuerza es acompañado por el desarrollo interactivo de varios factores; el sistema nervioso, la masa libre de grasas, diferenciación del tipo de fibra, el nivel de testosterona, y las características bioquímicas [14]. Así, el entrenamiento de la fuerza parece aumentar los movimientos balísticos en las habilidades críticas en los jugadores de fútbol jóvenes como el rendimiento de saltar, cambiar de dirección y de sprint [1, 12, 13].

Bangsbo y cols. [15] resaltaron que ambos sistemas de energía aeróbico y anaeróbico contribuyen a las demandas fisiológicas de un partido. Se considera que el sistema anaeróbico es de suma importancia al realizar movimientos balísticos como el sprint, saltar, y cambiar de dirección rápidamente [2]. Estas acciones repetidas por más tiempo (resistencia de fuerza-velocidad) a alta intensidad, determinan altas concentraciones de lactato. En esta perspectiva, el sistema aeróbico juega un rol crucial para aumentar la tasa de remoción de lactato durante las fases que se realizan a intensidades más bajas.

Todos los parámetros fisiológicos resaltados representan los factores limitantes, y contribuyen a determinar el rendimiento en jugadores de fútbol jóvenes. Por lo tanto, describiendo la carga de entrenamiento aplicada y supervisando su impacto en el rendimiento físico pueden dar una valiosa realimentación a los técnicos y los entrenadores físicos para perfeccionar el desarrollo y las adaptaciones en jugadores de fútbol jóvenes. En la literatura faltan investigaciones longitudinales que hayan descrito los efectos del entrenamiento sobre jugadores de fútbol jóvenes, después de aplicar una carga sistemática caracterizada por distintas variables del rendimiento.

Objetivo

El objetivo del presente estudio fue evaluar los parámetros siguientes: la resistencia aeróbica (VO_{2max} y frecuencia cardíaca), resistencia de fuerza-velocidad, fuerza, rigidez de las piernas, y el rendimiento de sprint corto durante dos temporadas de fútbol en jugadores profesionales jóvenes (de 13 a 15 años de edad).

Hipótesis

Se formuló la hipótesis de que durante los dos años los jugadores de fútbol jóvenes mejorarían su rendimiento (los parámetros de la fuerza explosiva y de la resistencia) homogéneamente.

MATERIALES Y MÉTODOS

Diseño del estudio

Un diseño de estudio de único grupo con medidas repetidas fue usado. El programa de entrenamiento se diseñó antes del comienzo de la primera temporada de fútbol. En la primera temporada de fútbol, los jugadores participaron en el campeonato nacional 'Giovanissimi' que tiene 28 partidos oficiales. En la segunda temporada de fútbol, los jugadores participaron en el campeonato nacional 'Allievi' (28 partidos oficiales). Cada temporada de fútbol era dividida en un período de preparación, un período competitivo, y un período de transición (Fig. 1). Las sesiones de evaluaciones se realizaron al principio de cada período de preparación (Fig. 1).

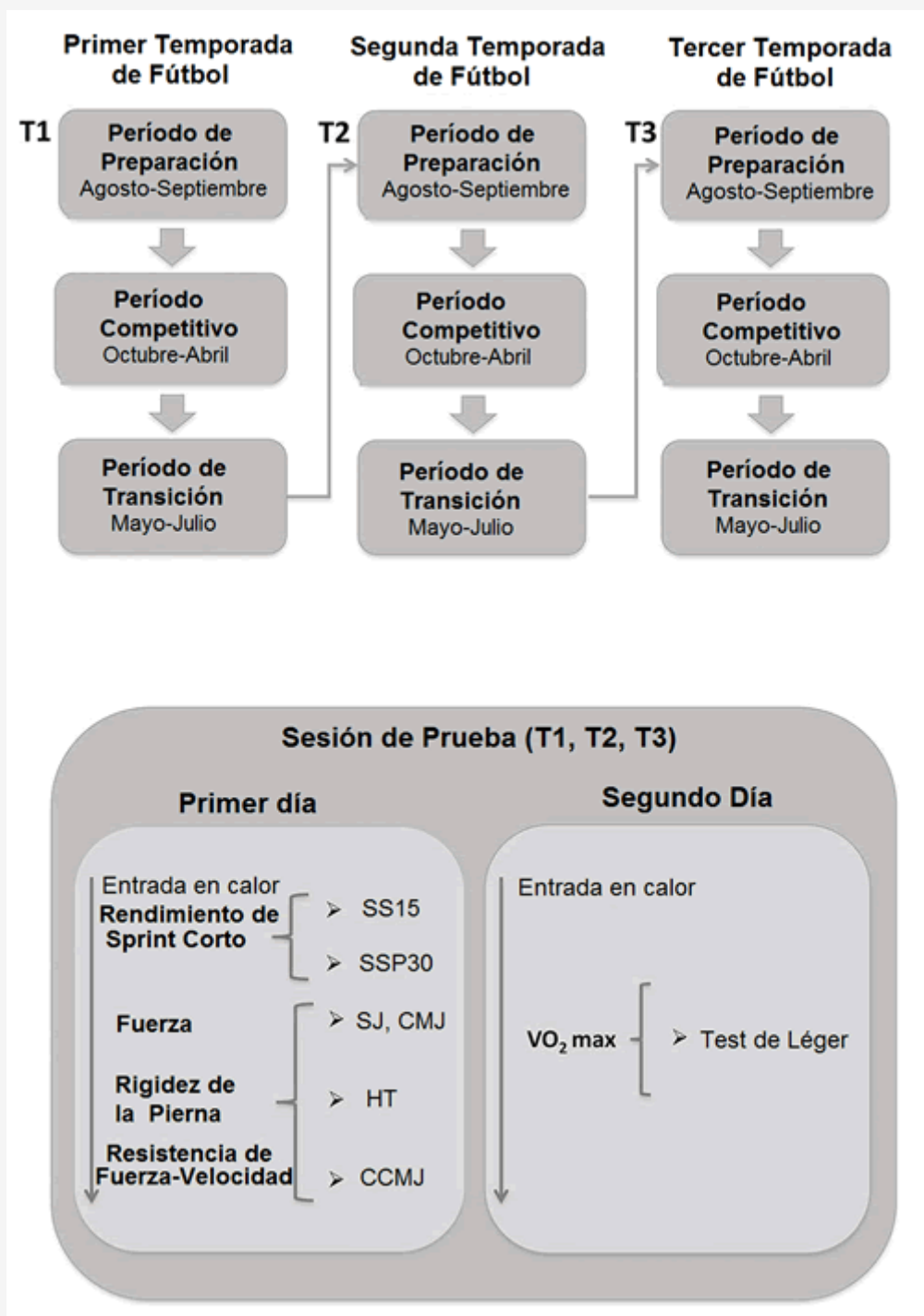


Figura 1. Diagrama de flujo del diseño experimental.

La primera y segunda sesión de evaluación se realizaron en dos días diferentes separados por dos días de descanso. Las mediciones se tomaron en el mismo momento del día durante los distintos días de la evaluación. SSP15 = Rendimiento de Sprint Corto (15 m), SSP30 = Rendimiento de Sprint Corto (30 m), SJ = Salto desde sentadilla, CMJ = Salto con contramovimiento, HT = Test de Rebote, CCMJ = Salto con contramovimiento continuo.

Participantes

Diecinueve jugadores (chicos) participaron en el presente estudio. Los jugadores tenían trece años con siete años de experiencia de entrenamiento. Ellos no tenían lesiones musculares, óseas, o articulares previamente. Todos los jugadores de fútbol obtuvieron una certificación médica para participar en la competición de fútbol, y sus padres dieron un consentimiento informado por escrito antes de la participación de los jugadores en la investigación presente. El Comité de

la Ética del Departamento de Ciencias Clínicas Biotecnológicas y Aplicadas de la Universidad aprobó el estudio. Las características antropométricas [promedio (SE)] fueron obtenidas al comienzo de la primera (T1), la segunda (T2), y tercera (T3) temporada de fútbol (Tabla 1).

Tabla 1. Características antropométricas de los jugadores de fútbol.

Momentos del Test	Jugador (n°)	Año (años)	Peso Corporal (kg)	Altura (cm)	BMI (kg/m ²)
T1	19	13.2 (0.3)	57.2 (4.9)	169.5 (4.7)	19.8 (1.1)
T2	19	14.2 (0.3)	58.1 (3.8)	170.9 (3.0)	20.4 (1.3)
T3	19	15.2 (0.3)	61.8 (3.7)*†	173.9 (3.6)*†	20.8 (1.4)*

Los valores son promedios (error estándar)
 * Diferencia significativa de T1 (p<0.01)
 † Diferencia significativa de T2 (p<0.05)
 BMI, índice de masa corporal.

Entrenamiento

Como la estructura del programa de entrenamiento se relaciona a la edad de los jugadores; después de la pubertad, la periodización del entrenamiento en los jugadores de fútbol jóvenes se torna similar a la de los adultos ya que existen 'ventanas' de entrenabilidad para mejorar el rendimiento aeróbico [16], los niveles de fuerza explosiva [17,18], el rendimiento del sprint corto [18], y la resistencia de la fuerza-velocidad [19,20]. Los componentes del entrenamiento (las modalidades) fueron los mismos en el programa de dos años (Tabla 2). Los períodos de la preparación (Fig. 1) de la primera y segunda temporada de fútbol fueron organizados en cinco microciclos (35 días de entrenamiento) con la meta de determinar los cambios homogéneamente en todos los componentes, aun cuando se puso atención particular al desarrollo de la fuerza explosiva y los elementos técnico-tácticos, principalmente en el período de preparación del segundo año de fútbol (Tablas 3 y 4). De hecho, se dedicaron 110-120 minutos por semana a los componentes técnico-tácticos y 110-130 minutos por semana al elemento de fuerza.

Tabla 2. Categorías de entrenamiento.

Categorías de entrenamiento	Resistencia Aeróbica	Entrenamiento de Fuerza	Fuerza y Fuerza Explosiva	Resistencia Anaeróbica	Ejercicios Técnico-Tácticos	Ejercicios de Flexibilidad
	<ul style="list-style-type: none"> * Carrera continua * Interval training * Carrera aeróbica en 'shuttle' * Juegos reducidos 	<ul style="list-style-type: none"> * Push-ups * Pull-ups * Sentadilla completa y media en multipower * Ejercicios abdominales 	<ul style="list-style-type: none"> * Entrenamiento de la Fuerza * Carrera de sprint corto (horizontal) * Carrera en subida y bajada en sprint * Salto vertical * (SJ,CMJ,DJ) * Sprint corto sobre arena y agua * Rebotes, múltiples rebotes y saltos pequeños 	<ul style="list-style-type: none"> * Carrera en 'shuttle' con cambio de dirección * Sprint horizontal repetido * Sprints repetidos con ejercicios con pelota (dribling, remates, etc.) 	<ul style="list-style-type: none"> * Driles coordinación o driles técnicos en grupo * Ejercicios técnicos y tácticos en defensa y ataque 	<ul style="list-style-type: none"> * Estiramiento estático * PNF * Estiramiento dinámico

Tabla 3. Cargas de entrenamiento de un microciclo durante el período de preparación (primer año de fútbol).

Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Categorías de Entrenamiento	1 Entrada en calor 2 Ejercicios abdominales 3 Fuerza explosiva 4 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios abdominales 3 Entrenamiento aeróbico 4 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios abdominales 3 Fuerza explosiva 4 Ejercicios de flexibilidad	Reposo	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Entrenamiento de resistencia aeróbica 4 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Entrenamiento de fuerza (ejercicios de tren superior) 4 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Ejercicios de flexibilidad
Tiempo (min)	1 (20) 2 (10) 3 (30) 4 (10)	1 (20) 2 (10) 3 (30) 4 (10)	1 (20) 2 (10) 3 (30) 4 (10)		1 (10) 2 (35) 3 (20) 4 (10)	1 (10) 2 (25) 3 (20) 4 (10)	1 (10) 2 (50) 3 (10)

Tabla 4. Cargas de entrenamiento de un microciclo durante el período de preparación (segundo año de fútbol).

Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Categorías de Entrenamiento	1 Entrada en calor 2 Ejercicios abdominales 3 Fuerza explosiva 4 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios abdominales 3 Entrenamiento aeróbico 4 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios abdominales 3 Fuerza explosiva 4 Ejercicios de flexibilidad	Reposo	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Resistencia anaeróbica 4 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Entrenamiento de fuerza (ejercicios de tren superior) 4 Entrenamiento aeróbico 5 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Ejercicios de flexibilidad
Tiempo (min)	1 (15) 2 (20) 3 (30) 4 (15)	1 (20) 2 (20) 3 (30) 4 (10)	1 (20) 2 (10) 3 (10) 4 (5.0)		1 (20) 2 (25) 3 (20) 4 (15)	1 (10) 5 (5.0) 2 (15) 3 (20) 4 (30)	1 (15) 2 (55) 3 (10)

Las estructuras de los microciclos en el período de preparación eran similares en ambas temporadas de fútbol (días semanales de entrenamiento), mientras que, el tiempo ligeramente aumentó en la segunda temporada de fútbol (de 420 minutos a 480 minutos).

En la temporada competitiva, los microciclos fueron organizados en cuatro sesiones por semana con los mismos componentes, pero con una proporción diferente entre la primera y la segunda temporada de fútbol (Tablas 5 y 6). El tiempo total en la segunda temporada de fútbol fue superior que la de la primera temporada (380 vs 320 minutos).

Tabla 5. Cargas de entrenamiento de un microciclo durante la temporada competitiva (primer año).

Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Categorías de Entrenamiento	1 Entrada en calor 2 Entrenamiento de fuerza (tren superior) 3 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Fuerza explosiva o resistencia aeróbica 4 Ejercicios de flexibilidad	Reposo	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Resistencia anaeróbica 4 Ejercicios técnicos-tácticos 5 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Ejercicios de flexibilidad	Reposo	1 Partido oficial
Tiempo (min)	1 (20) 2 (30) 3 (10)	1 (20) 2 (20) 3 (30) 4 (10)		1 (10) 2 (15) 3 (10) 4 (20) 5 (5.0)	1 (20) 2 (25) 3 (20)		1 (70)

El entrenamiento de los dos períodos de transición (Fig. 1) no se supervisó directamente aún cuando un programa de entrenamiento se les dio a los sujetos para mantener su condición física. El programa se caracterizó por varias actividades físicas alternativas (es decir, trotar, voleibol playero, ciclismo de aventura, natación, y futsal).

La intensidad del entrenamiento en la resistencia aeróbica fue determinada para cada jugador de fútbol registrando la

frecuencia cardíaca durante el último nivel del test de Léger (este valor de FC_{máx} era la frecuencia cardíaca máxima correspondiente al VO₂_{máx} estimado). Específicamente, la velocidad al final del test de Léger de un jugador era de 14.5 km/h; en esta velocidad el VO₂_{máx} estaba igual a 53.9 mL·kg⁻¹·min⁻¹ y la FC_{máx} era de 201 lat·min⁻¹. Por consiguiente, tres zonas de entrenamiento fueron definidas: a) Intensidad Alta (90-95% de la FC_{máx}, 181-191 lat·min⁻¹) y Corta Duración (15 minutos); b) Intensidad Media (80-85% de la FC_{máx}, 161-171 lat·min⁻¹) y Mediana Duración (20 minutos); c) Intensidad Baja (70-75% de la FC_{máx}, 141-151 lat·min⁻¹) y Larga Duración (30 minutos). Las intensidades fueron determinadas en cada jugador. Las intensidades del entrenamiento se planearon según una periodización lineal en los períodos de preparación (primero y segundo año), mientras que, durante las dos temporadas competitivas (primero y segundo año) se realizaron en planes periodizados no lineales por semana o quincenales [21].

Tabla 6. Cargas de entrenamiento de un microciclo durante la temporada competitiva (segundo año).

Días	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Categorías de Entrenamiento	1 Entrada en calor 2 Entrenamiento de fuerza 3 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Fuerza 4 Resistencia aeróbica 5 Ejercicios de flexibilidad	Reposo	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Resistencia anaeróbica 4 Ejercicios técnicos-tácticos 5 Ejercicios de flexibilidad	1 Entrada en calor 2 Ejercicios técnicos-tácticos 3 Ejercicios de flexibilidad	Reposo	1 Partido oficial
Tiempo (min)	1 (20) 2 (30) 3 (10)	1 (10) 2 (10) 3 (25) 4 (25) 5 (10)		1 (10) 2 (10) 3 (25) 4 (30) 5 (5.0)	1 (20) 2 (50) 3 (10)		1 (80)

El número de repeticiones y series, cuando los ejercicios de fuerza explosivos eran aplicados (Tabla 2), fueron definidos en base al rendimiento del salto desde sentadilla. Los jugadores de fútbol con los tiempos de vuelo más altos durante los saltos desde sentadilla, realizaron más series que repeticiones, y vice-versa. Sin embargo, el número total (número de repeticiones × serie) era igual. Este criterio es en base a la fatigabilidad del sujeto y los porcentajes de las fibras de contracción rápida [22] (los sujetos con un % más alto de las fibras de contracción rápida en sus piernas desarrollan la fatiga más rápidamente que los sujetos con el % más bajo de las fibras de contracción rápida) [23,24,25]. Por lo tanto, para administrar los ejercicios de fuerza explosiva, de entrenamiento de la fuerza y de la resistencia anaeróbica, los jugadores de fútbol fueron divididos en tres grupos (baja, media, y alta fatigabilidad) y la carga fue aplicada de la siguiente manera durante el primer año del fútbol: el grupo bajo (1) realizó 2 x 10 repeticiones; el grupo medio (2) 3 x 6-7 repeticiones y el grupo alto (3) 4 x 5 repeticiones. Durante las sesiones del entrenamiento de la fuerza la opción del peso a ser levantado era en base a la capacidad del individuo para realizar "con el peso seleccionado" las últimas dos reps con una gran dificultad pero al mismo tiempo usando la técnica correcta (el período de descanso entre cada serie fue de 3 minutos). Durante los ejercicios balísticos (la fuerza explosiva y el rendimiento del sprint corto) los jugadores tenían 1 minuto de pausa entre las repeticiones (es decir, en los sprint cortos) y 3-4 minutos entre las series. Durante las sesiones de resistencia anaeróbica, 30 segundos y 2 minutos de pausa fueron dados respectivamente entre las repeticiones y series.

El entrenamiento de la resistencia así como el entrenamiento de la fuerza explosiva y de la fuerza, se planearon según una periodización lineal en períodos de preparación, y en planes periodizados no lineales por semana o quincenales en las temporadas competitivas. Sin embargo, los dos entrenamientos periodizados no lineales de la fuerza y de la resistencia en las temporadas competitivas estaban fuera de la fase.

Procedimientos de evaluación

Las mediciones se tomaron dentro del centro deportivo del club de fútbol antes de empezar el período de preparación de las temporadas de fútbol (Fig. 1). Para cada jugador de fútbol, los tests se realizaron en dos días separados por un período de recuperación de dos días para evitar cualquier efecto potencial de la fatiga. Las mediciones se tomaron en el mismo momento del día en el siguiente orden: el rendimiento del sprint corto y los saltos verticales en el primer día de prueba, pausa (2 días), y test de Léger en el segundo día de prueba. Todos los datos fueron recogidos en un gimnasio con un ambiente de clima controlado (20-21° C). Cada sesión de test empezó con una entrada en calor de 20 minutos (6 minutos de carrera en cinta ergométrica a una velocidad de 7 km/h; 4 minutos de estiramiento dinámico; ejercicios de tronco convencionales, de brazos, y de piernas; algunos saltos verticales, rebotes, y un sprint breve). Los jugadores se presentaron ante los equipos y procedimientos durante un período de familiarización en el primer día. Los saltos verticales (el salto desde sentadilla, salto con contramovimiento, los rebotes, y los saltos continuos) se realizaron sobre una

plataforma resistente conectada a una unidad de recolección de datos (MuscleLab-Ergotest Technology, Langesund, Noruega), que a su vez se enlazaron a una computadora personal vía un puerto USB.

Consumo máximo de oxígeno y frecuencia cardíaca

El consumo máximo de oxígeno (VO₂máx) fue estimado del test de Léger [26]. El protocolo de prueba consistió en una carrera de ida y vuelta en una distancia de 20 m con velocidades incrementales. La velocidad de inicio era de 8.5 km/h con incrementos de 0.5 km/h para cada minuto. A fin de mantener el paso a velocidades diferentes, un metrónomo con un estímulo acústico fue usado por los jugadores. Cada jugador cambiaba de dirección usando la pierna derecha e izquierda alternativamente para evitar la fatiga de los músculos aductores de la pierna. El test terminaba cuando los jugadores no eran capaces de seguir el ritmo del metrónomo (detrás de la línea de 20 m a la señal acústica en dos tramos consecutivos). La frecuencia cardíaca (FC) era monitoreada durante la ejecución del test de Léger usando un monitor de frecuencia cardíaca (Polar, Finlandia). Al final de cada fase, los valores de las frecuencias cardíacas eran reunidas. Sin embargo, sólo los valores de la FC correspondientes al paso de la última velocidad fue usada para el análisis.

Fuerza explosiva, pre-estiramiento y rigidez de la pierna

La fuerza explosiva se evaluó midiendo el tiempo de vuelo durante el salto desde sentadilla (SJ) y el salto con contramovimiento (CMJ). Después de esto, la elevación del centro de la masa era calculado usando la fórmula de Bosco y cols. [27]. Los jugadores realizaron tres repeticiones para cada salto con sus manos en su cintura. El SJ y el CMJ mejores por altura fueron usados para el análisis. En suma, el cambio relativo entre CMJ y SJ $[(CMJ-SJ)/SJ] \cdot 100$ fue calculado para estimar el pre-estiramiento durante el salto [28, 29, 30]. La rigidez de la pierna se evaluó con el test de rebote (HT). Los jugadores realizaron una serie de brincos (durante diez segundos) con sus manos en su cintura manteniendo el ángulo de la rodilla extendida lo más posible. Los jugadores fueron instruidos para saltar tan alto como fuera posible con el tiempo de contacto más breve (salto-rebote máximo) [31]. La consistencia entre las repeticiones se verificó inspeccionando el tiempo de contacto y el tiempo de vuelo en cada rebote. Cuando el tiempo de contacto y el tiempo de vuelo mostraban una gran variabilidad entre los saltos, el test era repetido (pasó en algunas pruebas). El test fue realizado dos veces (durante cada sesión de prueba) con un período de descanso de 4 minutos entre las dos pruebas. El tiempo de contacto y el tiempo de vuelo fueron medidos, y la rigidez de la pierna fue calculada para cada rebote; entonces, el valor promedio a través de rebotes fue calculado [32]. La prueba con el valor promedio más alto se conservó para el análisis.

Resistencia de fuerza-velocidad

La resistencia de la fuerza-velocidad se evaluó por medio de saltos con contramovimiento continuos (CCMJ). En el CCMJ, los sujetos fueron pedidos de realizar quince CMJ que alcancen la altura máxima posible en cada uno de los saltos. El test se realizó en una plataforma resistente (Ergotest Innovation, Porsgrunn, Noruega) mientras el ángulo de la rodilla (alrededor de 100 grados) se supervisaba usando un electrogoniómetro conectado al Muscle-Lab (Ergotest Innovation, Porsgrunn, Noruega).

Rendimiento del sprint corto

El tiempo del sprint fue medido usando dos pares de celdas fotoeléctricas (tipo WL170-N132, Ergotest Innovation, Porsgrunn, Noruega). La distancia entre la fotocélula activa (el transmisor/receptor) y el reflector era de aproximadamente 2 m. Las distancias entre los dos pares de celdas fotoeléctricas eran de 15 m (SSP15) y 30 m (SSP30) (0.8 m sobre el suelo). Las celdas fotoeléctricas se conectaron al cronómetro electrónico del Muscle-Lab (0.001 segundos) (Ergotest Innovation, Porsgrunn, Noruega). Los jugadores empezaban, sin la orden verbal, desde una posición de pie con la pierna preferida detrás de la línea de salida (0.3 m). Se les dijo que corrieran tan rápido como fuera posible, y para cada distancia de rendimiento de sprint corto (SSP15 y SSP30) se realizaron dos pruebas con un período de descanso de 4 minutos entre las pruebas. El mejor tiempo fue considerado para el análisis.

Análisis estadístico

Cuando el test de W de Shapiro-Wilk revelaba la distribución no-normal de los datos, nosotros aplicamos una transformación logarítmica para obtener las respuestas normales distribuidas (sólo una variable, aumento del pre-estiramiento). Los datos no transformados se reportan (para propósitos descriptivos solamente) en las figuras y expresadas como valores de la media y errores estándares (SE). El efecto de entrenamiento sobre las variables seleccionadas (VO₂máx, FC, CCMJ, SJ, CMJ, CMJ-SJ, HT, SSP15, y SSP30) se evaluó a través del tiempo usando un ANOVA de medidas repetidas de sentido único. La corrección de Bonferroni fue usada para ajustar los valores p según el número de comparaciones que se realizaron. La confiabilidad de inter-días de las variables independientes se cuantificó vía coeficiente

de correlación de intra-clase (CCI, 95% margen de confianza, límite de confianza superior y límite inferior) [33]. El análisis post-hoc fue ejecutado para cuantificar el tamaño del efecto de Cohen (ES) para todas las variables dependientes. El análisis se realizó usando un software estadístico XLSTAT 2013.2.07 (Addinsoft, SARL, Nueva York).

RESULTADOS

Los coeficientes de correlación de intra-clase (CCI) de las variables medidas se reportan en la Tabla 7. Los cambios en la altura, peso e índice de masa corporal se observan en la Tabla 1.

Tabla 7. Confiabilidad de las variables.

Variables	ICC	95% CL (Inferior-Superior)
VO ₂ Max	0,94	0,84–0,98
HR	0,80	0,42–0,94
SJ	0,96	0,82–0,99
CMJ	0,94	0,80–0,98
CMJ-SJ	0,53	0,03–0,84
HT	0,95	0,85–0,98
CCMJ	0,90	0,71–0,97
SSP 15	0,80	0,42–0,93
SSP 30	0,88	0,67–0,95

ICC: coeficiente de correlación de intra-clase, CL: límite de confianza

VO₂máx y FC

El rendimiento aeróbico mejoró en los jugadores de fútbol de élite jóvenes de trece a quince años de edad dando un efecto principal significativo en el VO₂máx ($F(2.49) = 3.822$; $p = 0.029$; ES = 1.00). El aumento entre T1 y T3 fue significativo ($p = 0.002$; ES = 1.26; +5.72%), mientras que, el aumento entre T1 y T2 no alcanzó el nivel de significación ($p = 0.080$; ES = 0.81; +3.14%). Similarmente, la disminución de la FC mostró un efecto principal significativo en la FC ($F(2.54) = 3.472$; $p = 0.038$; ES = 0.97). Se encontraron contrastes significativos entre T1 y T3 ($p = 0.007$; ES = 1.11; -1.70%), y entre T2 y T3 ($p = 0.018$; ES = 1.00; -1.35%) (Fig. 2).

Resistencia de la fuerza-velocidad (CCMJ)

El rendimiento en el CCMJ mejoró y el efecto principal fue significativo ($F(2.54) = 5.438$; $p = 0.007$; ES = 1.15). Los contrastes entre el T1 y T3 ($p = 0.0001$; ES = 1.62; +7.64%), y entre T2 y T3 ($p = 0.046$; ES = 0.89; +3.9%) fue significativo, mientras que la diferencia entre T1 y T2 no alcanzó el nivel de significación ($p = 0.083$; ES = 0.81; +3.49%) (Fig. 2).

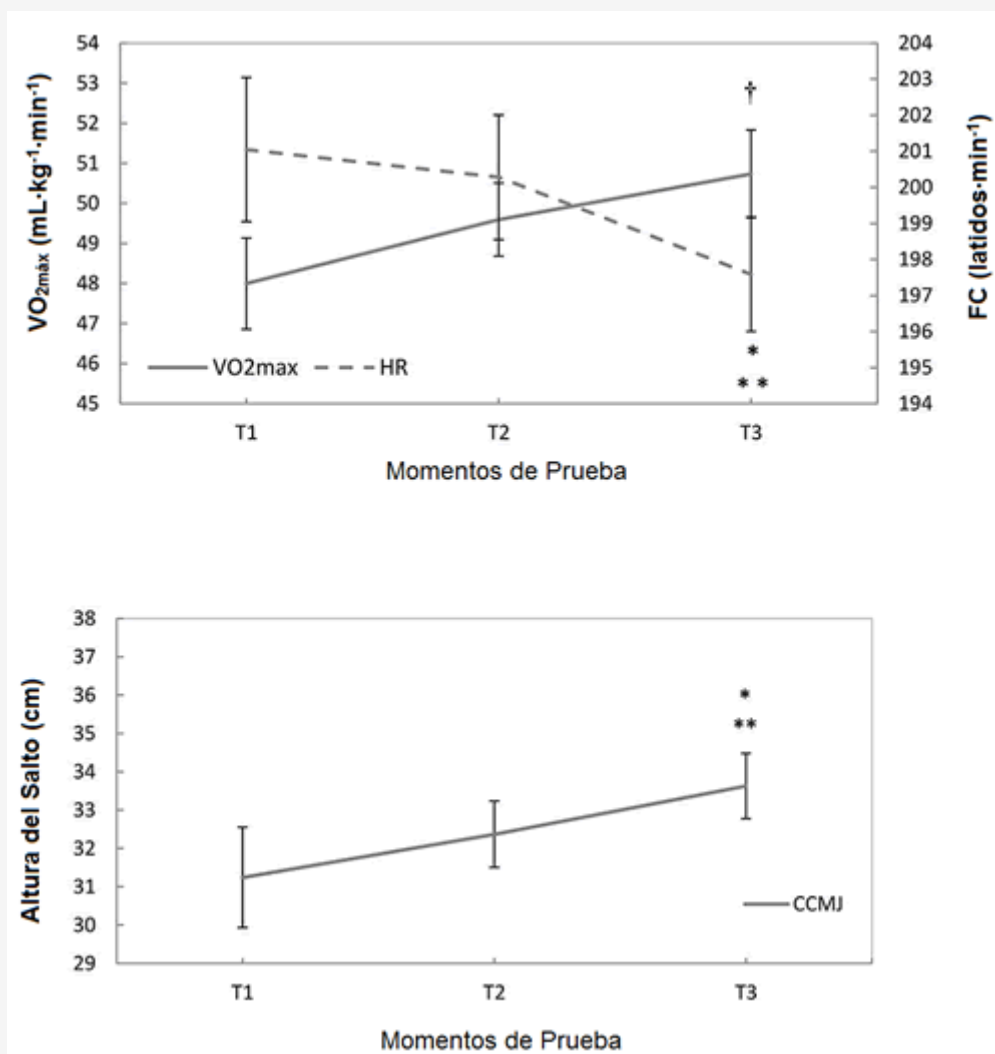


Figura 2. Valores promedio (SE) para VO₂máx, FC y CCMJ.

T1, T2 y T3 representan los momentos de la prueba. (VO₂máx) † Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.002$). (FC) * Diferencias significativas entre T2 y T3 ($p = 0.046$). ** Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.011$). (CCMJ) * Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.0001$). ** Diferencias significativas entre T2 y T3 ($p = 0.046$).

Fuerza explosiva (CMJ, SJ), pre-estiramiento (CMJ-SJ), y rigidez de la pierna (HT).

El efecto principal a través del tiempo mostró un significativo aumento para el SJ ($F(2.54) = 15.254$; $p = 0.0001$; ES = 1.53) y el CMJ ($F(2.54) = 8.270$; $p = 0.001$; ES = 1.33). Las comparaciones múltiples revelaron diferencias significativas entre T1 y T3 (SJ, $p = 0.0001$; ES = 1.62; +10.26%) (CMJ, $p = 0.0001$; ES = 1.62; +7.36%), y entre T2 y T3 (SJ, $p = 0.0001$; ES = 1.62; +6.97%) (CMJ, $p = 0.003$; ES = 1.21; +4.87%) (Fig. 3).

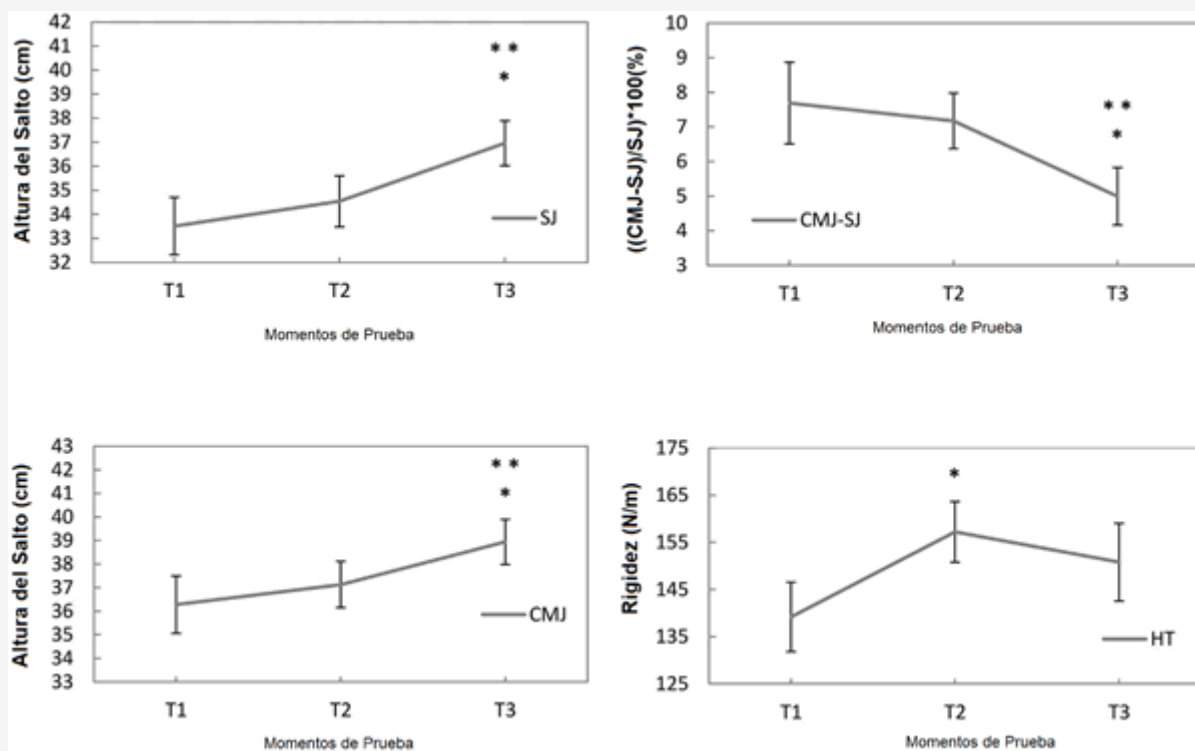


Figura 3. Los valores promedio (SE) para SJ, CMJ, CMJ-SJ y HT.

T1, T2 y T3 representan los momentos de la prueba. (SJ) * Diferencias significativas entre T2 y T3 ($p = 0.001$). ** Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.001$). (CMJ) * Diferencias significativas entre T2 y T3 ($p = 0.003$). ** Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.0001$). (CMJ-SJ) * Diferencias significativas entre T2 y T3 ($p = 0.044$). ** Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.014$). (HT) * Diferencias significativas entre T1 y T2 ($p = 0.005$)

La proporción de CMJ:SJ mostró una tendencia decreciente por más tiempo ($F(2.50) = 2.575$; $p = 0.086$; $ES = 0.87$). Las diferencias entre T1 y T3 ($p = 0.014$; $ES = 1.00$; -35.02%), y entre T2 y T3 ($p = 0.044$; $ES = 0.89$; -30.40%) fueron ambos significativo (Fig. 3).

El efecto principal en HT fue significativo ($F(2.48) = 3.297$; $p = 0.046$; $ES = 1.01$), y el contraste entre T1 y T2 fue significativo ($p = 0.005$; $ES = 1.24$; $+12.9\%$) (Fig. 4).

Rendimiento de sprint corto (SSP15, SSP30)

El tiempo de sprint fue significativamente menor y los efectos principales se observaron en ambos SSP15 ($F(2.44) = 12.760$; $p = 0.0001$; $ES = 1.53$) y SSP30 ($F(2.44) = 5.797$; $p = 0.006$; $ES = 1.16$). Las diferencias en el SSP15 fueron localizadas entre T1 y T2 ($p = 0.019$; $ES = 0.99$; $+2.31\%$), T2 y T3 ($p = 0.0001$; $ES = 1.62$; -5.51%), y T1 y T3 ($p = 0.001$; $ES = 1.34$; -3.32%) (Fig. 4). Similarmente, el SSP30 mostró diferencias significativas entre T1 y T2 ($p = 0.047$; $ES = 0.88$; -0.11%), T2 y T3 ($p = 0.027$; $ES = 0.95$; -2.40%), y T1 y T3 ($p = 0.0001$; $ES = 1.62$; -4.44%) (Fig. 4).

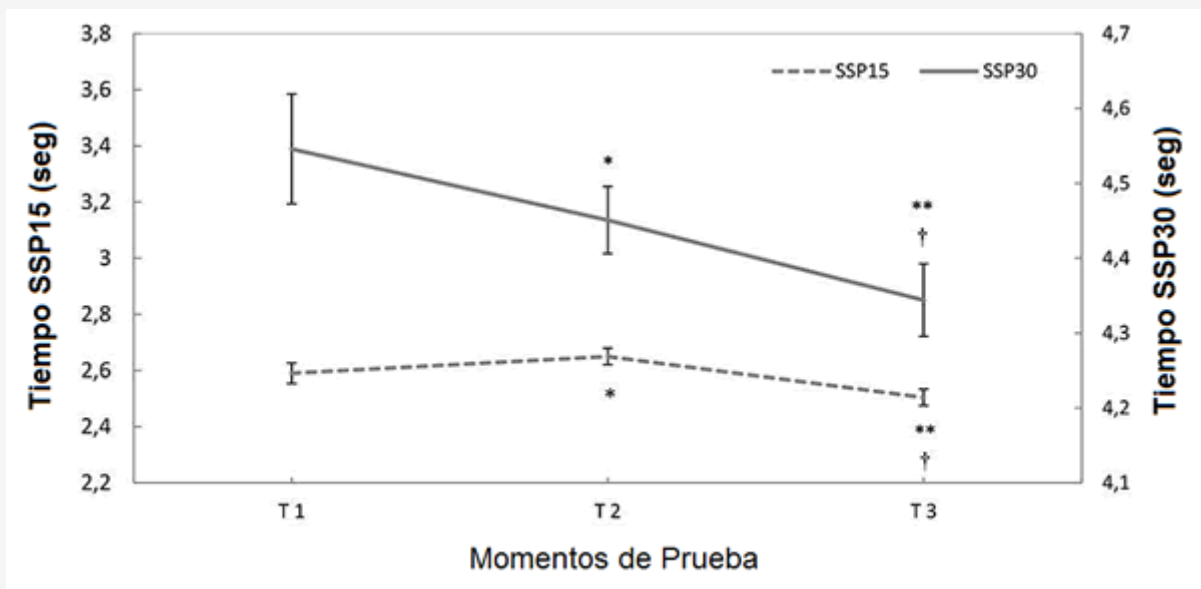


Figura 4. Valores promedio (SE) para SSP15 y SSP30.

T1, T2 y T3 representan los momentos de prueba. (SSP15) * Diferencias significativas entre T1 y T2 ($p = 0.019$). ** Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.001$). † Diferencias significativa entre T2 y T3 ($p = 0.0001$). (SSP30) * Diferencias significativas entre T1 y T2 ($p = 0.0047$). ** Diferencias significativas entre T1 y T3 ($p = 0.0001$). † Diferencias significativas entre T2 y T3 ($p = 0.027$)

DISCUSIÓN

El hallazgo primario del presente estudio fue que todas las variables seleccionadas del rendimiento seleccionado mejoraron significativamente durante los dos años. Las variables cambiaron linealmente (aumentando o disminuyendo) durante los dos años, aunque se lograron contrastes significativos en el segundo año con la excepción de las variables rigidez de la pierna y rendimiento del sprint corto (15m). La variable de rigidez de la pierna sólo mejoró en el primer año y permaneció constante en el segundo año, mientras que la variable del rendimiento del sprint corto (15 m) disminuyó en el primer año y aumentó en el segundo año. La mejora progresiva en casi todas las variables del rendimiento, particularmente la resistencia aeróbica ($VO_{2m\acute{a}x}$), resistencia de la fuerza-velocidad (CCMJ), la fuerza (SJ y CMJ), y los sprints cortos (SSP30), indica que la carga específica de entrenamiento fue bien equilibrada para estimular los distintos mecanismos fisiológicos involucrados en los procesos adaptativos que a su vez se conectan al estado de maduración de los jugadores de fútbol jóvenes.

Adaptaciones del entrenamiento de resistencia

El $VO_{2m\acute{a}x}$ (expresado en $mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$) aumentó significativamente por 5.72% después de las temporadas de fútbol de dos años (aproximadamente un 3% por cada año) (Fig. 2). En el programa de entrenamiento, se usaron varios métodos para determinar un tamaño de efecto grande ($ES > 0.80$) en la resistencia aeróbica (Tabla 3). Adicionalmente, la intensidad fue individualizada según la frecuencia cardíaca máxima registrada durante el último nivel del test del Léger (ver carga de entrenamiento en la sección de "métodos").

Desafortunadamente, nosotros no podemos hacer comparaciones directas de nuestros resultados con aquellos de otros porque los estudios longitudinales con una similar duración, protocolo, y edad de los sujetos, no hay en la literatura. En el estudio longitudinal mixto más comprehensivo que fue dirigido por Baxter-Jones y cols. [16] en jugadores de fútbol jóvenes (13-15 años de edad), el $VO_{2m\acute{a}x}$ permaneció estable desde la fase pre-puberal a la fase medio-puberal ($55.7 mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$), pero aumentó significativamente desde la fase puberal media a la fase puberal tardía (14-15 años de edad, de 55.7 a $61.5 mL \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$, +10.4%). Al contrario, Berg y cols. [34] no reportaron cambios significativos en el $VO_{2m\acute{a}x}$ y FC máxima. Sin embargo, los jugadores de fútbol en el estudio eran más jóvenes (~12 años de edad) y el período de entrenamiento fue más corto (9 semanas). Estos últimos estudios apoyan la visión de que el crecimiento del

adolescente es un período crítico para desarrollar el VO₂máx por medio de un 'entrenamiento específico' ya que mostró una disminución en el período de crecimiento de sujetos de 13-15 años de edad, gimnastas, e individuos desentrenados [16]. En este contexto, nosotros notamos que el entrenamiento en nuestro estudio era más eficaz en el segundo año (de 14 a 15 años), junto con un aumento concomitante en el volumen de entrenamiento (una sesión cada 15 días en la primera temporada competitiva y una sesión semanal en el período competitivo segundo). Una estructura de entrenamiento anual similar a nuestro estudio (incluyendo una sesión de entrenamiento de alta intensidad semanalmente para el VO₂máx durante una temporada competitiva) no cambió el VO₂máx de jugadores de fútbol jóvenes significativamente (16-17 años de edad) [35]. Un mayor nivel de resistencia aeróbica se ha reportado en el estudio de McMillan y cols. [36] que demostró que sesiones de entrenamiento intervalado aeróbico a esa alta intensidad (90-95% de la frecuencia cardíaca máxima) dos veces por semana durante diez semanas además del entrenamiento normal de fútbol, aumenta el VO₂máx de 63.4 a 69.8 mL•kg⁻¹•min⁻¹ (+10%) en jugadores de fútbol de élite jóvenes (17 años de edad). Nuestra opinión es que una comparación directa con las últimas investigaciones no puede hacerse debido a los diseños experimentales diferentes de los estudios en cuestión. Específicamente, nuestra investigación representa un 'sistemática de vigilancia' del rendimiento durante dos años que ha tenido en cuenta distintas variables del rendimiento que podrían ser influenciados por varios factores (es decir, entrenamiento, competiciones, crecimiento y maduración). Por otro lado, un estudio específico fue analizado [36] que mostró resultados significativos en un período relativamente corto de duración. En otras palabras, nuestro estudio se ha llevado a cabo con una perspectiva más amplia que el de los estudios anteriores que sólo se han enfocado en un factor limitando y/o el entrenamiento de corto término.

Por lo tanto, las investigaciones futuras deben evaluar la ganancia en el rendimiento cuando el entrenamiento de corta duración específico adicional, similar al de MacMillan y cols. [36], es integrado en un proceso de entrenamiento a largo plazo (es decir, de dos años) con otras variables.

Nosotros tenemos que subrayar que en nuestro estudio el VO₂máx fue (no directamente medido) estimado por medio del test de Léger, por lo tanto, el rendimiento de resistencia esto es; la distancia cubierta durante el test representa una medida global que también podría incluir adaptaciones del sistema anaeróbico, mejoras en la economía de carrera, y el umbral anaeróbico [5]. En realidad, es necesario agregar que en el monitoreo de la resistencia aeróbica en los jugadores jóvenes, los métodos directos, mientras midiendo el consumo de oxígeno con una máscara oro-nasal, son muy poco utilizadas por varias razones prácticas (test de carreras del larga duración y costos altos).

El sistema anaeróbico es estimulado con ejercicios de resistencia de fuerza-velocidad específicos que significativamente aumentaron el rendimiento durante los saltos con contramovimiento continuos (CCMJ; +7.7% total y +3.9% en el segundo año). Este test es capaz de lograr adaptaciones específicas en el sistema anaeróbico como el salto con contra movimiento realizado durante quince segundos al máximo que es sostenido por la capacidad de ATP-PCr, además de la potencia glucolítica máxima [37]. Aunque la mitad del tiempo total (quince segundos) estaba gastado en el aire, la restante mitad del tiempo del contacto fue usada para guardar la energía elástica para reusarla en la próxima fase positiva del salto [23, 28], ya que los adolescentes entrenados (12-15 años) tienen menos capacidad glucolítica que los adultos [19, 20]. Por lo tanto, la duración de quince segundos parece apropiada para adolescentes dada su funcionalidad limitada del sistema glucolítica a fin de resaltar las adaptaciones en la resistencia de fuerza-velocidad asociadas con el reclutamiento de unidades motoras rápidas [23].

La disminución en la frecuencia cardíaca máxima asociada con un aumento en la distancia durante el test de Léger, no puede explicarse solamente con el crecimiento ya que en promedio, la frecuencia cardíaca máxima disminuye 1 latido/min por año [38]. Sin embargo, en nuestro estudio, la frecuencia cardíaca disminuyó por aproximadamente 5 latidos/min de 13 a 15 años. La disminución de la frecuencia cardíaca máxima asociada con el crecimiento y el entrenamiento aeróbico podría indicar una optimización de la relación volumen sistólico-frecuencia cardíaca para aumentar al máximo el gasto cardíaco [39]. En un reciente trabajo de Vesterinen y cols. [40], el índice de carrera de sprint-frecuencia cardíaca se ha propuesto como un método para monitorear la adaptación al entrenamiento de la resistencia en la carrera sin necesidad de usar un test de carrera máximo. La carrera de sprint-frecuencia cardíaca parecen estar relacionados significativamente al consumo máximo de oxígeno y a los cambios de la velocidad de carrera máxima [40].

Adaptaciones de la fuerza explosiva

Se obtuvieron mejoras efectivas en el rendimiento aeróbico sin efectos de interferencia negativos concomitantes sobre el sistema neuromuscular (la fuerza explosiva y el rendimiento de sprint). La fuerza explosiva (CMJ y SJ) empezó mejorando en la primera temporada de fútbol por 2.49 y 3.29%, respectivamente. Sin embargo, las mejoras eran notablemente superiores al final de la segunda temporada de fútbol (por 4.87 y 6.97%, respectivamente). Estas grandes mejoras en la segunda temporada de fútbol, podrían ser explicadas por el aumento de la carga de entrenamiento realizada por los jugadores en los períodos de preparación (dos sesiones semanales frente a tres sesiones semanales) y durante las temporadas competitivas (1 sesión quincenal frente a 1 sesión semanal) y/o por el estado de maduración. Se han reportado resultados similares en estudios longitudinales dirigidos en jóvenes futbolistas de elite ingleses [18] y serbios [17], en los

que el rendimiento del salto durante un CMJ aumentó por aproximadamente 1.25% (30), y por 3.51% [18] de trece a catorce años de edad, y por 5.14% [18] de catorce a quince años de edad. Sin embargo, en las últimas investigaciones, un contenido de entrenamiento detallado a fin de dar un valioso 'feedback' e información acerca de la relación de dosis-efecto no fue reportado.

En el entrenamiento de corta duración específico, la mayor mejora en el rendimiento del salto (CMJ, +14.4%) por los jugadores de fútbol jóvenes de élite (14.5 años.) se ha demostrado en un estudio de Buchheit y cols. [41], donde una sesión de fuerza por semana fue agregada durante las diez semanas a un régimen de entrenamiento normal. Makhlouf y cols. [42] encontraron que combinando la misma secuencia de entrenamiento como en nuestro estudio (la fuerza antes de la resistencia dentro de una única sesión de entrenamiento en jugadores de élite jóvenes de menos de 14 años) sin incluir ejercicios con carga externa, el salto desde sentadilla (+10.5%) y el salto con contramovimiento (+7.3%) mejoraron después de un período de 12 semanas en el que dos sesiones por semana eran incluidas en el régimen de entrenamiento de la temporada competitiva. Marques y cols. [43] encontraron que superponiendo un régimen combinado pliométrico y de sprint (dos sesiones de 20 minutos por semana durante seis semanas consecutivas) al de entrenamiento de fútbol normal (cuatro sesiones por semana) en jugadores de élite jóvenes (13.4 años), el rendimiento del salto aumentó por 7.7% en un período corto de tiempo (6 semanas).

Similarmente al entrenamiento de la resistencia, estos últimos estudios específicos demuestran que las mejoras eficaces en la fuerza explosiva pueden obtenerse en jugadores de fútbol de élite jóvenes aumentando la carga de trabajo cuando el entrenamiento sólo se enfoca en un tipo de ejercicio y se realiza en un período de corta duración. Como fue explicado anteriormente, el tema principal es optimizar la relación de dosis-efecto cuando más tipos de ejercicios (fuerza explosiva, resistencia, y ejercicios técnico-tácticos) están implicados en el entrenamiento durante un período más largo de tiempo (temporada de fútbol). En suma, durante el entrenamiento concurrente, los mecanismos de señalización intracelulares antagonistas podrían determinar la inhibición de las mejoras de la fuerza (inhibición de la hipertrofia muscular) cuando las variables de fuerza y de resistencia son estimuladas simultáneamente en un programa de entrenamiento [44, 45].

Un rasgo interesante del presente estudio fue que el pre-estiramiento tuvo una tendencia a disminuir desde el primer año (-4.6%) al segundo año (-30.4%) mientras la rigidez de la pierna aumentó durante el primer año (+12.9%) y luego tuvo una tendencia a disminuir ligeramente durante el segundo año. Los cambios opuestos del aumento del pre-estiramiento y rigidez de la pierna en la primera temporada de fútbol están en línea con la relación inversa entre el aumento del pre-estiramiento y la rigidez musculotendinosa [30] o rigidez del tendón [29]. En nuestro estudio, la disminución en el pre-estiramiento no pudo ser explicada por el crecimiento de los jugadores como con el desarrollo (de 4 a 20 años de edad) el pre-estiramiento aumenta [28]. Sin embargo, nosotros estimamos la rigidez de la pierna [32] usando un ejercicio multi-articular (rebote); por lo tanto, los resultados no pueden compararse directamente con otros estudios en los que la rigidez era determinada de maneras diferentes (rigidez del tendón o rigidez musculotendinosa). En este contexto, la rigidez del tendón respondió sólo del 22% de la variación en el aumento del pre-estiramiento [29]. De esta manera, otros factores como la potenciación en el nivel de la activación de los músculos y la re-utilización de la energía elástica guardada en los puentes cruzados, podrían ser los mecanismos potenciales responsable de las diferentes respuestas adaptativas entre el aumento del pre-estiramiento y la rigidez de la pierna desde la primera a la segunda temporada de fútbol.

Recientemente, Ramírez-Campillo y cols. [46, 47, 48] han demostrado grandes mejoras en el índice de fuerza reactiva en el salto en caída (de 12 a 36%) y el rendimiento del sprint corto 10-30 m (de -0.4 a -6.0%) durante una intervención quincenal de corta duración (es decir, 6-7 semanas) de entrenamiento pliométrico en jugadores de fútbol jóvenes (10-15 años), sin basamento en fuerza regular o entrenamiento pliométrico. Las mejoras concomitantes en el índice de fuerza reactiva (o rigidez de la pierna durante un rebote) y el rendimiento del sprint corto no es sorprendente ya que rebotar en el lugar tiene un rasgo mecánico básico similar al modelo de resorte-masa usado durante la carrera [49]. De hecho, Chelly y Denis [49] han evidenciado una correlación significativa entre la rigidez de la pierna durante el rebote en el lugar y la velocidad máxima durante el rendimiento de sprint (40 m). Al contrario, la fase de aceleración inicial es dependiente de la fuerza y potencia muscular. En esta conexión, Chelly y cols. [12] han demostrado que aplicando un programa de entrenamiento de la fuerza con cargas pesadas realizándolo dos veces por semana durante dos meses en jugadores de fútbol jóvenes (17 años de edad), el cambio relativo de una máxima repetición en la sentadilla con barra atrás (+25%) y la velocidad en la primera fase del rendimiento de sprint corto (+25%) era superior que el cambio relativo en el salto desde sentadilla (+10%) y la velocidad máxima de carrera de 40 m (+12%).

Para resumir, estos estudios explican las mejoras vistas en el SSP30 con un aumento en la rigidez de la pierna (SSP15 diferente) en la primera temporada de fútbol de nuestro estudio. Al contrario, en el segundo año, cuando las mejoras en el SJ y CMJ se volvieron más pronunciadas, aumentos significativos fueron también alcanzados en el SSP15.

Limitaciones

En la investigación presente no hubo ningún grupo de control para equilibrar el grupo experimental, por lo tanto,

nosotros no podemos diferenciar entre las adaptaciones debido al entrenamiento o al crecimiento y al estado de maduración. En general, el rendimiento físico podría ser influenciado por los procesos relacionados con el crecimiento y la maduración. Por lo tanto, el crecimiento de jugadores jóvenes desde los 13 a los 15 años que han experimentado cambios significativos en la altura, peso e índice de masa corporal, pueden haber influido en las variables del rendimiento seleccionadas en el presente estudio. En la literatura, varias pruebas normalizadas; como los sprint, las carreras en 'shuttle' y los saltos verticales mostraron mejoras, en promedio, desde la infancia a través de la adolescencia en los niños; aún cuando tareas en las que el cuerpo es proyectado, (saltos y sprint cortos) se correlacionan negativamente con la masa corporal [50]. Similarmente, se ha indicado la dependencia de la potencia aeróbica sobre el tamaño corporal durante el crecimiento en la curva de crecimiento de la potencia aeróbica relativa (es decir, por unidad de la masa corporal, mL·kg⁻¹·min⁻¹); los valores en los estudios longitudinales muestran una disminución a través de la adolescencia del VO₂máx por unidad de masa corporal (mL O₂·kg⁻¹·min⁻¹), generalmente empieza a disminuir un año antes del PHV (pico de velocidad de altura) y continúa disminuyendo después del PHV [50].

En síntesis, las ventajas para las adaptaciones de la fuerza explosiva con la maduración, que se relacionan al desarrollo interactivo de los siguientes factores: el sistema nervioso, masa libre de grasa, diferenciación teórica del tipo de fibra, nivel de testosterona, y características bioquímicas [14], podrían neutralizarse por el crecimiento somático en el rendimiento de fuerza caracterizado por la acción del cuerpo humano contra la gravedad [50]. Por consiguiente, en el presente estudio nosotros no podemos determinar el rol relativo del entrenamiento, el crecimiento y la maduración sobre el proceso adaptativo de algunas variables (es decir, fuerza explosiva, resistencia de fuerza-velocidad, rendimiento del sprint corto, rigidez de la pierna y frecuencia cardíaca

CONCLUSIONES

Primeramente, los tests usados en el presente estudio son predictores prácticos y confiables para supervisar los cambios de la fuerza explosiva, y el rendimiento de resistencia en jugadores de fútbol de élite jóvenes. Secundariamente, la estructura del entrenamiento y las mejoras evidenciadas proveen pautas útiles de ganancias longitudinales esperables en el rendimiento de resistencia y de fuerza de jugadores de fútbol de élite de 13 a 15 años.

REFERENCIAS

1. Newton RU, Kraemer WJ, Häkkinen K, Humphries B, Murphy AJ. (1996). Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech* 1996; 12: 31-43.
2. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. (2005). Physiology of Soccer. *Sports Med*. 2005; 35: 501-536.
3. Harley JA, Barnes CA, Portas M, Lovell R, Barret S, Paul D et al. (2010). Motion analysis of match-play in elite U12 to U16 age-group soccer players. *J Sports Sci*. 2010; 28: 1391-1397.
4. Castagna C, D'Ottavio S, Abt G. (2003). Activity Profile of Young Soccer Players During Actual Match Play. *J Strength Cond Res*. 2003; 17: 775-780.
5. Helgerud J, Engen LC, Wisløff U, Hoff J. (2001). Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc*. 2001; 33: 1925-1931.
6. Støyer J, Hansen L, Klausen K. (2004). Physiological profile and activity pattern of young soccer players during match play. *Med Sci Sports Exerc*. 2004; 36: 168-174.
7. Tomlin DL, Wenger HA. (2001). The Relationship Between Aerobic Fitness and Recovery from High Intensity Intermittent Exercise. *Sports Med*. 2001; 31: 1-11.
8. Capranica L, Tessitore A, Guidetti L. (2001). Heart rate and match analysis in pre-pubescent soccer players. *J Sports Sci*. 2001; 19: 379-384.
9. Baker D, Nance S. (1999). The Relation Between Running Speed and Measures of Strength and Power in Professional Rugby League Players. *J Strength Cond Res*. 1999; 13: 230-235.
10. Comfort P, Bullock N, Pearson JS. (2012). A Comparison of maximal squat strength and 5-10 and 20 meter sprint times, in athletes and recreationally trained men. *J Strength Cond Res*. 2012; 26: 937-940.
11. 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*. 2014; 28: 173-177.
12. Chelly MS, 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*. 2009; 23: 2241-2249.
13. Christou M, Smilios I, Sotiropoulos K, Piliandis KV, Tokmakidis S. (2006). Effects of resistance training on the physical capacities of adolescent soccer players. *J Strength Cond Res*. 2006; 20: 783-791.
14. Kraemer WJ, Fry AC, Frykman PN, Conroy B, Hoffman J. (1989). Resistance Training and Youth. *Pediatr Exerc Sci*. 1989; 1:

15. Bangsbo J, Mohr M, Krstrup P. (2006). Physical and metabolic demands of training and match-play in the elite football player. *J Sports Sci.* 2006; 24: 665-674.
16. Baxter-Jones A, Goldstein H, Helms P. (1993). The development of aerobic power in young athletes. *J Appl Physiol.* 1993; 75: 1160-1167.
17. Mirkov DM, Kukolj M, Ugarkovic D, Koprivica VJ, Jaric S. (2010). Development of anthropometric and physical performance profiles of young elite male soccer players: a longitudinal study. *J Strength Cond Res.* 2010; 24: 2677-2682.
18. Williams CA, Oliver JL, Faulkner J. (2011). Seasonal monitoring of sprint and jump performance in a soccer youth academy. *Int J Sports Physiol Perform.* 2011; 6: 264-275.
19. Kuno S, Takahashi H, Fujimoto K, Akima H, Miyamaru M, Nemoto I et al. (1995). Muscle metabolism during exercise using phosphorus-31 nuclear magnetic resonance spectroscopy in adolescents. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1995; 70: 301-304.
20. Riddell MC. (2008). The endocrine response and substrate utilization during exercise in children and adolescents. *J Appl Physiol.* 2008; 105: 725-733.
21. Kraemer WJ, Fleck SJ. (2007). *Optimizing Strength Training Designing Nonlinear Periodization Workouts.* Champaign, IL: Human Kinetics.
22. Fitts RH, Widrick JJ. (1996). Muscle mechanics: adaptations with exercise-training. *Exerc Sport Sci Rev.* 1996; 24: 427-73.
23. Bosco C, Komi PV, Tihanyi J, Fekete G, Apor P. (1983). Mechanical power test and fiber composition of human leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983; 51: 129-135.
24. Tihanyi J, Apor P, Fekete G. (1982). Force-velocity-power characteristics and fiber composition in human knee extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1982; 48: 331-43.
25. Colliander EB, Dudley GA, Tesch PA. (1988). Skeletal muscle fiber type composition and performance during repeated bouts of maximal, concentric contractions. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1988; 58: 81-6.
26. Leger LA, Lambert J. (1982). A maximal multistage 20 m shuttle run test to predict Vo2Max. *Eur J Appl Physiol.* 1982; 49: 1-12.
27. Bosco C, Luhtanen P, Komi PV. (1983). A simple method for measurement of mechanical power in jumping. *Eur J Appl Physiol.* 1983; 50: 273-282.
28. Bosco C, Komi PV. (1980). Influence of aging on the mechanical behavior of leg extensor muscles. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1980; 45: 209-219.
29. Kubo K, Kawakami Y, Fukunaga T. (1999). Influence of elastic properties of tendon structures on jump performance in humans. *J Appl Physiol.* 1999; 87: 2090-2096.
30. Walshe AD, Wilson GJ, Murphy AJ. (1996). The validity and reliability of a test of lower body musculotendinous stiffness. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1996; 73: 332-339.
31. Hobara H, Muraoka T, Omuro K, Gomi K, Sakamoto M, Inoue K, Kanosue K. (2009). Knee stiffness is a major determinant of leg stiffness during maximal hopping. *J Biomech.* 2009; 42: 1768-71.
32. Dalleau G, Belli A, Viale F, Lacour JR, Bourdin M. (2004). A simple method for field measurements of leg stiffness in hopping. *Int J Sports Med.* 2004; 25: 170-176.
33. Hopkins WJ. (2000). Measures of reliability in sports medicine and science. *Sports Med.* 2000; 30: 1-15.
34. Berg KE, LaVoie JC, Latin RW. (1985). Physiological training effects of playing youth soccer. *Med Sci Sports Exerc.* 1985; 17: 656-660.
35. Jastrzębski Z, Rompa P, Szutowicz M, Radzimiński L. (2013). Effects of applied training loads on the aerobic capacity of young soccer players during a soccer season. *J Strength Cond Res.* 2013; 27: 916-923.
36. McMillan K, Helgerud J, Macdonald R, Hoff J. (2005). Physiological adaptations to soccer specific endurance training in professional youth soccer players. *Br J Sports Med.* 2005; 39: 273-277.
37. Walter G, Vandenborne K, Elliott M, Leigh JS. (1999). In vivo ATP synthesis rates in single human muscles during high intensity exercise. *J Physiol.* 1999; 519 Pt 3:901-910.
38. Washington RL, Bricker JT, Alpert BS, Daniels SR, Deckelbaum RJ, Fisher EA et al. (1994). Guidelines for exercise testing in the pediatric age group. *From the Committee on Atherosclerosis and Hypertension in Children, Council on Cardiovascular Disease in the Young, the American Heart Association. Circulation.* 1994; 90: 2166-2179.
39. Goodman JM, Liu PP, Green HJ. (2005). Left ventricular adaptations following short-term endurance training. *J Appl Physiol.* 2005; 98: 454-460.
40. Vesterinen V, Hokka L, Hynynen E, Mikkola J, Häkkinen K, Nummela A. (2014). Heart rate-running speed index may be an efficient method of monitoring endurance training adaptation. *J Strength Cond Res.* 2014; 28: 902-908.
41. Buchheit M, Mendez-Villanueva A, Delhomel G, Brughelli M, Ahmaidi S. (2010). Improving repeated sprint ability in young elite soccer players: repeated shuttle sprints vs. explosive strength training. *J Strength Cond Res.* 2010; 24: 2715-2722.
42. Makhlof I, Castagna C, Manzi V, Laurencelle L, Behm DG, Chaouachi A. (2015). The Effect of Sequencing Strength and Endurance training in Young Male Soccer Players. *J Strength Cond Res [Epub ahead of print].* 2015.
43. Marques MC, Pereira A, Reis IG, Tillaar R. (2013). Does an in-Season 6-Week Combined Sprint and Jump Training Program Improve Strength-Speed Abilities and Kicking Performance in Young Soccer Players? *J Hum Kinet.* 2013; 39:157-166.
44. Baar K. (2006). Training for endurance and strength: lessons from cell signaling. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38: 1939-1944.
45. Nader GA. (2006). Concurrent strength and endurance training: from molecules to man. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38:1965-1970.
46. Ramírez-Campillo R, Gallardo F, Henríquez-Olguín C, Meylan CM, Martínez C, Álvarez C et al. (2015). Effect of Vertical, Horizontal, and Combined Plyometric Training on Explosive, Balance, and Endurance Performance of Young Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2015; 29:1784-1795.
47. Ramírez-Campillo R, Henríquez-Olguín C, Burgos C, Andrade DC, Zapata D, Martínez C et al. (2015). Effect of Progressive Volume-Based Overload During Plyometric Training on Explosive and Endurance Performance in Young Soccer Players. *J*

Strength Cond Res. 2015; 29: 1884-1893

48. Ramírez-Campillo R, Meylan C, Alvarez C, Henríquez-Olguín C, Martínez C, Cañas-Jamett R et al. (2014). 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.*
49. Chelly MS, Denis C. (2001). Leg power and hopping stiffness: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc. 2001; 33: 326-333.*
50. Beunen G, Malina RM. (2007). Growth and Biologic Maturation: Relevance to Athletic Performance, in *The Young Athlete* (eds Hebestreit H. and Bar-Or O.), *Blackwell Publishing Ltd, Oxford, UK.*

Cita Original

Di Giminiani, R., Visca, C. (2017). Explosive strength and endurance adaptations in young elite soccer players during two soccer seasons. *PloS one 12(2)*, e0171734.