

Article

Efecto de la Maduración Biológica sobre las Adaptaciones Relacionadas con la Fuerza en Jóvenes Futbolistas

Iván Peña-González, Jaime Fernández-Fernández, Eduardo Cervelló y Manuel Moya-Ramón

RESUMEN

El entrenamiento de fuerza es crucial para el desarrollo a largo plazo de los jugadores de fútbol a edades tempranas y la maduración biológica puede influir en las adaptaciones específicas del entrenamiento de fuerza. El objetivo de este estudio fue proponer un programa de entrenamiento de fuerza para el desarrollo de la fuerza de los jugadores pre-púberes y analizar las adaptaciones de este programa de entrenamiento en jugadores con diferentes niveles de madurez. Ciento treinta jóvenes futbolistas masculinos participaron en un programa de entrenamiento de fuerza de 8 semanas que consistía en dos sesiones por semana (20 minutos de una combinación de ejercicios pliométricos y de fuerza) que se llevaron a cabo antes de su entrenamiento de fútbol habitual. Se definieron tres grupos de madurez de acuerdo con los años desde/hacia su pico de velocidad de crecimiento en altura (PHV, por sus siglas en inglés) como Pre-, Mid- y Post-PHV. Las diferencias principales entre los grupos de madurez se encontraron en variables antropométricas (peso y altura) y de rendimiento físico (Repetición Máxima (RM), Potencia de Salida Máxima (PP), Sprint de 30 m y T-test). El programa de entrenamiento de fuerza fue beneficioso para los tres grupos de madurez ($p < 0,05$) con mejoras generales mayores para los grupos de Pre y Mid-PHV, con grandes efectos en RM, PP y T-test, que para el grupo de Post-PHV (efectos moderados). El programa de entrenamiento de fuerza propuesto en el presente estudio parece ser positivo para el desarrollo relacionado con la fuerza en los jóvenes jugadores de fútbol, especialmente para los jugadores Pre- y Mid-PHV. Las diferencias en las adaptaciones de entrenamiento para jugadores con diferentes niveles de madurez sugieren la individualización de los estímulos de entrenamiento para el correcto desarrollo a largo plazo de los jugadores.

INTRODUCCIÓN

Las exigencias de rendimiento físico en el fútbol están relacionadas con las acciones de fuerza máxima y explosiva [1,2]. Es por esta razón, que el entrenamiento de fuerza se ha convertido en un elemento crucial en el desarrollo a largo plazo de los jugadores [3-5] y su evaluación puede utilizarse como indicador de rendimiento físico en los procesos de identificación y selección de talentos a edades tempranas [1]. Los métodos de entrenamiento pliométrico y de fuerza han sido informados como efectivos para la mejora de las acciones relacionadas con la fuerza en el fútbol, tales como saltar, correr o cambios de dirección [5-7]. En este sentido, las metodologías de entrenamiento pliométrico parecen lograr adaptaciones específicas para el fútbol, principalmente mediante mejoras neuromusculares [1,8], mientras que el entrenamiento de fuerza está relacionado con las adaptaciones estructurales.

Con el objetivo de crear un sistema justo para identificar y seleccionar a los futuros futbolistas talentosos a edades tempranas, la estructura del fútbol ha agrupado tradicionalmente a los jugadores jóvenes en categorías de 1 año de diferencia. Sin embargo, en el campo de la investigación deportiva, existe un interés creciente en la idea de que las diferencias interindividuales en la maduración biológica entre jugadores de la misma categoría pueden influir en el

rendimiento relacionado con la fuerza, así como en las adaptaciones específicas del entrenamiento de fuerza [1,9].

En investigaciones anteriores se observaron mayores adaptaciones a los programas de fuerza, con metodologías de entrenamiento pliométrico y/o de fuerza, para los jugadores post-púberes, que respaldan la idea de la "ventana de oportunidad" de aquellos jugadores avanzados en su maduración [3,7,9]. Este período de aumento acelerado de la fuerza de los jugadores post-púberes está respaldado por un rápido aumento de la masa muscular debido a un incremento de las concentraciones de andrógenos [10]. Sin embargo, los modelos contemporáneos de desarrollo de deportistas a largo plazo han demostrado que el entrenamiento de fuerza es importante en la pre-adolescencia, destacando una plasticidad neurológica asociada con los jugadores pre-púberes que apoya el desarrollo de la fuerza muscular en estos años a través de avances en adaptaciones neuromusculares como la coordinación intra e intermuscular [10].

En el campo de juego, los técnicos de fútbol y los preparadores físicos de equipos pre-adolescentes tratan de diseñar programas de fuerza para el desarrollo a largo plazo de sus jugadores. La controversia en los resultados de investigaciones anteriores acerca de las adaptaciones al entrenamiento de fuerza entre diferentes grupos de deportistas en sus niveles de madurez, lleva a una falta de consenso acerca del método de entrenamiento de fuerza en el período pre-púber. Las adaptaciones específicas del fútbol a un entrenamiento pliométrico en combinación con el entrenamiento normal de fútbol mostraron mayores ganancias en las habilidades relacionadas con la fuerza para los jugadores más maduros [1], mientras que las poblaciones en edad escolar han mostrado mayores mejoras en la fuerza para los jugadores pre- y post-púberes [5,7,9,11].

Tomando en cuenta la controversia sobre la adaptación relacionada con la madurez para un programa de entrenamiento de fuerza, este estudio pretendía proponer un programa de entrenamiento de fuerza basado en los modelos contemporáneos de desarrollo de deportistas a largo plazo para la mejora de la fuerza de los jugadores de fútbol pre-púberes. El objetivo del presente estudio fue informar las diferencias iniciales entre jóvenes futbolistas con diferentes niveles de madurez y también analizar las adaptaciones del rendimiento físico de acuerdo a su nivel de madurez para un programa específico de entrenamiento de fuerza.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Ciento treinta jóvenes futbolistas masculinos del primer y segundo nivel de la liga española participaron en el estudio. En la Tabla 1 se muestra la media \pm desviación estándar de las mediciones iniciales de la muestra. Para la incorporación en el estudio, los participantes deben haber asistido como mínimo al 80% de las sesiones del programa. Todos los jugadores participaron voluntariamente en el estudio y sus padres/tutores firmaron un consentimiento informado. El estudio fue aprobado (DPS.EC.01.17) por un Comité de Ética de Investigación conforme a las recomendaciones de la Declaración de Helsinki.

Tabla 1. Medición inicial de los resultados de los jugadores según el grupo de madurez (media \pm desviación estándar).

	CG (n = 20)	Pre-PHV (n = 43)	Mid-PHV (n = 36)	Post-PHV (n = 31)
CA (years)	13.2 ± 1.1	12.8 ± 0.4	13.8 ± 0.6* [§]	14.6 ± 0.50* [§] #
Height (cm)	158.2 ± 11.1	154.9 ± 6.2	165.9 ± 4.8* [§]	171.9 ± 10.4* [§] #
Weight (kg)	50.5 ± 10.3	45.4 ± 5.7*	55.8 ± 5.0 [§]	62.3 ± 6.6* [§] #
RM (kg)	66.1 ± 17.5	50.8 ± 12.4*	73.4 ± 17.1 [§]	87.9 ± 15.4* [§] #
PP (W)	648.8 ± 235.1	544.2 ± 183.6	796.0 ± 239.7* [§]	951.6 ± 231.1* [§] #
30-m sprint (s)	5.0 ± 0.4	4.8 ± 0.2*	4.6 ± 0.2* [§]	4.5 ± 0.2* [§]
T-test (s)	9.3 ± 0.6	9.3 ± 0.5	8.7 ± 0.3* [§]	8.6 ± 0.4* [§]

CA: Chronological age; RM: One repetition maximum; PP: Peak power output;

*Statistically different from control group (CG)

[§]Statistically different from Pre-PHV

#Statistically different from Mid-PHV

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t001>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t001>

Procedimiento

Se llevó a cabo un diseño de intervención pre- y post-test con un programa de fuerza de 8 semanas entre las sesiones previas y posteriores a la prueba. Como resultado de la intervención, se evaluaron los cambios en el rendimiento físico de los jugadores jóvenes entre el pre- y el post-test, y se realizaron análisis entre los grupos para comparar los cambios entre los grupos de madurez. Todos los participantes ya estaban familiarizados con los tests de rendimiento físico y tenían experiencia en el entrenamiento de fuerza. Cada sesión de prueba se separó de la sesión de entrenamiento anterior y posterior por al menos 48 horas. Durante la intervención (8 semanas), los jugadores realizaron tres sesiones de entrenamiento normales (entrenamientos específicos de fútbol en el campo de juego) más dos sesiones de entrenamiento de fuerza (ST, por sus siglas en inglés) por semana. Los entrenamientos normales de los equipos consistían en ejercicios técnicos y tácticos diseñados por el entrenador y las tareas relacionadas con la fuerza no estaban permitidas en estas sesiones en el campo de juego.

Los parámetros antropométricos de los jugadores como el peso (kg), la altura (cm) y la altura en sedestación (cm) fueron evaluados inicialmente. Después de la evaluación antropométrica, los jugadores realizaron un calentamiento estandarizado, que consistió en: (1) carrera de baja intensidad, (2) elongación dinámica y (3) repetición del movimiento en sentadillas con diferentes cargas. Al principio, cada jugador comenzó con aproximadamente el 50% de su peso y en las siguientes series la carga fue incrementando. Cada jugador realizó un mínimo de tres series de tres a cinco repeticiones y un máximo de cinco series antes de la que se registró. La fuerza de una repetición máxima (RM) y la potencia de salida máxima (PP) en el ejercicio de sentadilla media se estimaron indirectamente [12] utilizando una Máquina Smith (Technogym Trading, Gambettola, Italia) y se registraron con un encoder lineal (T-Force System, Ergotech, Murcia, España).

El tiempo durante el sprint de 30 m en línea recta y el T-test de agilidad [13] se midieron utilizando células fotoeléctricas (Datalogic S6 Series, Bolonia, Italia). Los participantes iniciaron los tests desde una posición de pie a 30 cm detrás de la fotocélula, que encendió un cronómetro digital. Los jugadores realizaron dos intentos con una pausa de dos minutos entre los ensayos, y el mejor de los dos ensayos se utilizó para el análisis.

Nivel de Maduración

A pesar de tener algunas limitaciones y aunque aparecen nuevas ecuaciones de predicción en estos últimos años, la evaluación de los años desde/hasta el pico de velocidad de crecimiento en altura (PHV) es el indicador más comúnmente utilizado de la maduración somática en el campo de juego [14]. El PHV indica el punto de referencia teórico del crecimiento máximo de altura durante la adolescencia que se produce, en promedio, alrededor de los 14 años en los hombres y los 12 en las mujeres [15]. La predicción de los años desde/hacia el PHV, también llamada "offset de madurez", nos da una referencia precisa del nivel de madurez del joven deportista [16,17] y es especialmente precisa en chicos de 12 a 16 años con una maduración "media" [18].

Para el análisis posterior, los jugadores fueron agrupados en tres grupos de madurez de acuerdo a sus años desde/hasta el PHV. Se definieron grupos de madurez con el mismo nombre que en otros estudios para facilitar la comprensión del lector: Pre-PHV (n = 43; <0,5 años hasta el PHV), Mid-PHV (n = 36; >0,5 años hasta y <0,5 años desde el PHV) y Post-PHV (n = 31; >0,5 años desde el PHV). Además, se creó un grupo de control (CG) con participantes de Pre-, Mid- y Post-PHV (n = 20). El CG no llevó a cabo el programa de ST, pero participó en los entrenamientos normales específicos de fútbol con sus

equipos.

Programa de Entrenamiento de Fuerza

Durante el programa de ST todos los jugadores llevaron a cabo tres sesiones normales de entrenamiento de fútbol de 90 minutos de duración por semana, más dos sesiones adicionales de ST por semana, que consistieron en 20 minutos de una combinación de ejercicios pliométricos y de fuerza (ver Tabla 2), que se llevaron a cabo antes del entrenamiento normal de fútbol. Con el objetivo de diseñar un programa de fuerza para el desarrollo de jugadores pre-púberes, la carga externa era pequeña pero la velocidad de movimiento requerida era máxima, buscando adaptaciones neuromusculares en lugar de estructurales. El CG realizó el entrenamiento normal de fútbol, pero no el trabajo extra de ST. Cada sesión de entrenamiento se llevó a cabo a la misma hora del día y un investigador supervisó todas las sesiones de ST. Antes de cada sesión de ST, los jugadores realizaban un calentamiento estandarizado que consistía en cinco minutos de carrera y tres minutos de elongación dinámica. El programa de ST se dividió en dos períodos de 4 semanas de duración denominados bloque 1 y bloque 2. El objetivo de dividir el programa de ST en dos bloques era aumentar la carga inicial de algunos ejercicios. Los jugadores fueron alentados a realizar los ejercicios a la máxima velocidad y a repetir el ejercicio tantas veces como fuera posible en 30 segundos. La relación trabajo/pausa se fijó en 1:1.

Tabla 2. Ejercicios y progresión durante las ocho semanas del ST.

	Block 1 (Weeks 1–4)	Block 2 (Weeks 5–8)
Semi-squat	<i>Without external load</i>	With a 10-kg disc
Lunge	<i>Without external load</i>	With a 5-kg ball
Side lateral lunge	<i>Without external load</i>	With a 5-kg ball
Single-leg squat (right)	<i>Without external load</i>	<i>Without external load</i>
Single-leg squat (left)	<i>Without external load</i>	<i>Without external load</i>
Dead lift	<i>Without external load</i>	With a 10-kg bar
Hip-thrust	<i>Without external load</i>	With a 5-kg ball
Multi-jumping	Two-legs jumping on an agility ladder	One-leg jumping on an agility ladder
Hip-rotation	With an elastic band	With an elastic band

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t002>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t002>

Análisis Estadístico

Los datos para la medición inicial de los jugadores, así como para el análisis pre- post-test, fueron informados como media \pm desviación estándar. Las diferencias en cada grupo para las pruebas de rendimiento físico se informaron como el porcentaje de cambio, mientras que la comparación en los cambios pre- post-test entre los grupos se informó con los tamaños del efecto.

Se llevó a cabo un análisis de varianza unidireccional (ANOVA) al comienzo para comparar la medición inicial entre los tres grupos de madurez y el CG, y se utilizó un análisis post-hoc (Bonferroni) para informar las diferencias estadísticas iniciales entre los grupos. Se utilizó un T-test de muestras pareadas para el análisis de las diferencias previas a la prueba en cada grupo de madurez, así como en el CG para cada prueba de rendimiento físico. Los tamaños del efecto de la comparación entre grupos sobre las adaptaciones del entrenamiento se analizaron como triviales ($< 0,19$), pequeños (0,20-0,49), moderados (0,50-0,79) y grandes ($> 0,80$) [19]. Para los efectos estandarizados del programa de ST, se utilizó un análisis de inferencia basado en la magnitud con una planilla específica, "Compare two groups means" (www.sportsci.org/). Para este análisis, la diferencia significativa más pequeña en unidades estandarizadas (d de Cohen) se fijó en 0,2, lo que representa la diferencia hipotética más pequeña. Se proporcionó también la descripción cualitativa según la probabilidad de beneficio para una mejor comprensión, como: posible (25 a 75%); probable (75 a 95%); muy probable (95 a 99,5%); la más probable ($>99,5\%$) [20].

Todos los cálculos se realizaron utilizando Microsoft Excel (Microsoft, Seattle, Washington, EEUU.) y SPSS Statistics (Statistical Package for the Social Sciences, Versión 17.0), y el nivel de significancia se fijó en $p < .05$.

Resultados

El ANOVA con el análisis post-hoc mostró diferencias iniciales entre los diferentes grupos de madurez (Pre- < Mid- < Post-PHV) así como con el CG. Las diferencias estadísticas entre grupos se muestran en la Tabla 1.

Las diferencias estadísticas mostradas en el T-test de muestras pareadas, se informan en la Tabla 3, así como el tamaño del efecto (IC del 95%) con la magnitud del efecto del entrenamiento, la probabilidad descriptiva del beneficio y el porcentaje del cambio después de la aplicación del programa de ST. Se encontraron diferencias significativas para RM, PP y T-test entre la evaluación pre- y post-test para Pre-, Mid- y Post-PHV ($p < 0,05$), mientras que no se encontraron diferencias significativas para el CG.

Tabla 3. Cambios en el rendimiento físico para los diferentes grupos de nivel de madurez y el grupo de control (CG).

	PRE	POST	ES (95% CI)	Training effect	Probability of benefit	% of change
RM (kg)						
CG	66.1 ± 17.5	67.0 ± 17.4	-0.05 (-0.67; 0.57)	Trivial	Likely	4.9
Pre-PHV	50.8 ± 12.4	67.2 ± 11.2*	-1.39 (-1.83; -0.92)	Large	Most likely	32.3
Mid-PHV	73.4 ± 17.1	93.3 ± 18.5*	-1.12 (-1.60; -0.61)	Large	Most likely	27.1
Post-PHV	87.9 ± 15.4	100.8 ± 18.2*	-0.77 (-1.27; -0.24)	Moderate	Most likely	14.7
PP (w)						
CG	648.8 ± 235.1	719.1 ± 241.3	-0.30 (-0.91; 0.33)	Small	Possibly	14.6
Pre-PHV	544.2 ± 183.6	695.3 ± 162.1*	-0.87 (-1.29; -0.44)	Large	Most likely	27.8
Mid-PHV	796.0 ± 239.7	994.3 ± 224.1*	-0.85 (-1.33; -0.36)	Large	Most likely	24.9
Post-PHV	951.6 ± 231.1	1085.0 ± 243.8*	-0.56 (-1.06; -0.05)	Moderate	Most likely	14.0
30-m sprint (s)						
CG	5.1 ± 0.4	5.0 ± 0.6*	0.20 (-0.43; 0.81)	Small	Possibly	2.0
Pre-PHV	4.8 ± 0.2	4.8 ± 0.2	0.00 (-0.41; 0.41)	Trivial	Possibly	0.0
Mid-PHV	4.6 ± 0.2	4.5 ± 0.2*	0.50 (0.03; 0.96)	Moderate	Very likely	2.2
Post-PHV	4.5 ± 0.2	4.5 ± 0.2	0.00 (-0.50; 0.50)	Trivial	Possibly	0.0
T-test (s)						
CG	9.3 ± 0.6	9.1 ± 0.5	0.36 (-0.27; 0.98)	Small	Possibly	2.1
Pre-PHV	9.3 ± 0.5	8.9 ± 0.3*	0.97 (0.53; 1.39)	Large	Most likely	4.3
Mid-PHV	8.7 ± 0.3	8.4 ± 0.4*	0.85 (0.36; 1.32)	Large	Most likely	3.4
Post-PHV	8.6 ± 0.4	8.4 ± 0.4*	0.50 (-0.01; 1.00)	Moderate	Very likely	2.3

* ($p < 0.05$): Significantly different from PRE

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t003>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t003>

La Tabla 4 muestra la comparación estandarizada por pares de las adaptaciones al programa de ST entre grupos. Los efectos *moderados* a *grandes* en las adaptaciones para RM y PP se mostraron en cada grupo de madurez cuando se compararon con el grupo de control, e incluso estos efectos parecen ser significativos cuando el IC no corta a cero. Sin embargo, sólo se mostraron efectos *moderados* en las adaptaciones para el programa de ST en el T-test entre Pre-PHV y el CG sin cortar a cero. El resto de los efectos por pares con el grupo de control fueron *triviales* y *pequeños*. Se encontraron efectos *moderados* a *grandes* en las adaptaciones al programa de ST entre los grupos Pre- y Mid-PHV con el Post-PHV para las pruebas RM y PP, y el IC sin cortar a cero indica las diferencias significativas en las adaptaciones al programa de ST entre estos grupos de madurez.

Tabla 4. Comparación entre pares de los efectos estandarizados en unidades Cohen (IC del 95%) para los cambios entre grupos de madurez.

	<u>Control vs Pre-PHV</u>	<u>Control vs Mid-PHV</u>	<u>Control vs Post-PHV</u>
RM	-1.51 (-2.08; -0.90)	-1.09 (-1.65; -0.49)	-1.01 (-1.59; -0.39)
PP	-0.54 (-1.08; 0.00)	-0.57 (-1.11; 0.00)	-0.15 (-0.71; 0.42)
30-m sprint	0.27 (-0.27; 0.80)	-0.07 (-0.62; 0.48)	0.23 (-0.35; 0.79)
T-test	-0.76 (-1.30; -0.20)	-0.33 (-0.88; 0.22)	-0.23 (-0.79; 0.34)
	<u>Pre-PHV vs Mid-PHV</u>	<u>Pre-PHV vs Post-PHV</u>	<u>Mid-PHV vs Post-PHV</u>
RM	0.18 (-0.27; 0.62)	0.92 (0.43; 1.40)	0.60 (0.10; 1.09)
PP	0.18 (-0.26; 0.62)	0.51 (0.03; 0.98)	0.51 (0.01; 1.00)
30-m	-0.33 (-0.77; 0.12)	-0.07 (-0.53; 0.40)	0.28 (-0.21; 0.76)
T-test	0.43 (-0.03; 0.87)	0.54 (-0.06; 1.01)	0.11 (-0.38; 0.59)

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t004>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.t004>

DISCUSIÓN

Los principales resultados de este estudio sugieren que un programa de entrenamiento de fuerza (ST) centrado en las adaptaciones neuromusculares, (es decir, llevado a cabo a la máxima velocidad voluntaria) en lugar de mejoras estructurales (es decir, estrategias de hipertrofia) es beneficioso para el desarrollo de la fuerza en el fútbol juvenil, con mejoras generalmente mayores en los grupos de Pre- y Mid-PHV. Hasta donde sabemos, es el primer programa específico de ST para jóvenes futbolistas que muestra un beneficio general en las adaptaciones para jugadores de Pre- y Mid-PHV en lugar de jugadores de Post-PHV, y podría ayudar a los técnicos y entrenadores físicos de jugadores de fútbol pre-púberes. Un programa específico de entrenamiento pliométrico para jugadores de fútbol de Asadi et al. (2018) mostró mayores logros en el rendimiento de salto y sprint para los jugadores post-PHV. Además, otras referencias concuerdan con la idea de que los Post-PHV tienen mayor adaptación al entrenamiento de fuerza, pero estas referencias se realizaron sin una población específica de futbolistas [7,9]. Por otro lado, las mayores adaptaciones a un programa de entrenamiento de fuerza para niños Pre-PHV también se mostraron en investigaciones anteriores [5,11], pero también con una población en edad escolar y no con jugadores de fútbol. De todos modos, el presente estudio coincide con todos estos estudios en la idea de la importancia de los diferentes rendimientos físicos y de las diferentes adaptaciones al entrenamiento de jóvenes deportistas con diferentes niveles de madurez en los procesos de identificación y selección de talentos [10].

Además, las mejoras en el rendimiento físico de los jugadores jóvenes no sólo se deben a la prescripción del entrenamiento de fuerza, sino también al desarrollo natural de los jóvenes [9]. En este sentido, este estudio mostró porcentajes de cambio de 2,0 a 14,6 en las diferentes pruebas de rendimiento físico para el grupo de control. Estas diferencias fueron *triviales* a *pequeñas* y con una probabilidad de beneficio de *posible* a *probable*.

Para la evaluación de la fuerza máxima y de potencia (RM y PP), los jugadores Pre- y Mid-PHV tuvieron mejores adaptaciones (24 a 32% de cambio con *grandes* efectos) al programa de ST propuesto que los jugadores Post-PHV (alrededor del 14% de cambio con efectos *moderados*). No sólo se informó la magnitud de los cambios, sino que también se mostraron los efectos estandarizados en las comparaciones de adaptación, con efectos de *moderados* a *grandes* en los grupos Pre-PHV versus Post-PHV y en los grupos Mid-PHV versus Post-PHV. Sin embargo, el análisis estadístico mostró diferencias significativas entre el pre- y el post-test en todos los niveles de madurez. Así, el programa de ST propuesto puede estar dirigido a jóvenes futbolistas de 12 a 15 años para mejorar su fuerza máxima y explosiva, destacando las mayores mejoras en los jugadores Pre-PHV. Aunque el presente programa de ST fue diseñado con el objetivo de mejorar el rendimiento físico de los jugadores Pre-PHV en mayor medida, otras posibles razones de la mayor mejora del Pre- que del Post-PHV en RM y PP, pueden ser las diferencias iniciales entre estos grupos. En este sentido, y en línea con los resultados de Radnor et al. (2017), el programa propuesto de ST podría ser un estímulo de fuerza insuficiente para permitir mayores mejoras para los jugadores post-PHV. Los jugadores post-PHV pueden necesitar, en función de su rendimiento físico, un estímulo de entrenamiento más específico [5].

Se encontraron resultados polémicos para las pruebas relacionadas con la velocidad, como el sprint de 30 metros y el T-

test de agilidad. Aunque la relación entre las mejoras de fuerza y velocidad ha sido ampliamente generada [21], las mejoras en RM y PP mostradas en el presente estudio, no fueron acompañadas por mejoras lineales en los sprints en los mismos niveles de madurez. No obstante algunos cambios en el análisis pre- post-test son estadísticamente significativos, se muestran efectos *triviales* y *pequeños* para estos cambios. Los cambios mostrados en el sprint lineal en este estudio, no pueden sostener un beneficio claro de la aplicación de este programa de ST. Una posible explicación de este resultado es el alto estímulo de entrenamiento de la muestra actual específica de futbolistas para tareas relacionadas con la velocidad en su entrenamiento de fútbol habitual. En este sentido, el actual programa de ST puede ser insuficiente para el desarrollo de la velocidad de estos jóvenes futbolistas. Por otro lado, cada grupo de madurez tuvo adaptaciones similares después del programa de ST propuesto para el T-test, que para RM y PP (efectos *grandes* ($p < 0,05$) en Pre- y Mid-PHV con probabilidad de beneficio *más probable* y efectos *moderados* ($p < 0,05$) en Post-PHV con probabilidad de beneficio *muy probable*). La controversia sobre las mejoras en el T-test de agilidad sin mejoras claras en el sprint lineal puede explicarse por la transferencia de fuerza en las tareas de agilidad, al igual que el cambio de dirección, debido a un ciclo eficiente de estiramiento-acortamiento [7].

Una de las principales limitaciones del presente estudio fue el control de las cargas de entrenamiento específicas del fútbol. Los jugadores asisten a sus entrenamientos de fútbol habituales con su equipo habitual (con sus compañeros de edad cronológica) y pueden aparecer diferencias entre las cargas de entrenamiento específicas del fútbol. Los autores intentaron amortiguar este sesgo bloqueando cualquier tipo de entrenamiento de fuerza durante el entrenamiento específico de fútbol. Además de esto, la agrupación de jugadores por nivel de madurez para el análisis suele aparecer en la bibliografía como: Pre-PHV < -1 y Post-PHV > 1 en su offset de madurez. El presente estudio pretende reducir las diferencias biológicas entre grupos para realizar un análisis más exhaustivo. Sin embargo, debido al error asociado con la fórmula de offset de madurez, el número de jugadores clasificados en un grupo equivocado puede aumentar en comparación con otros estudios. Las diferencias iniciales entre los grupos, junto con la pequeña desviación estándar en peso y altura, indicaron que los grupos de madurez eran inicialmente homogéneos, por lo que el error asociado en el cálculo del offset de PHV [16] fue relativamente controlado.

Conclusión

Dada la relevancia de la fuerza en el fútbol, un programa de entrenamiento de fuerza centrado en las adaptaciones neuromusculares y llevado a cabo durante ocho semanas (dos veces por semana) demostró ser efectivo para mejorar el rendimiento físico relacionado con la fuerza en los jugadores de fútbol jóvenes, generalmente con mayores mejoras en los jugadores Pre- y Mid-PHV. Las diferencias de rendimiento físico relacionadas con la madurez, junto con las diferencias en las adaptaciones al entrenamiento de fuerza informadas en este estudio, podrían ser muy útiles para los profesionales del fútbol en donde es muy común que jugadores con diferentes niveles de madurez practiquen y compitan juntos. El estímulo de entrenamiento individualizado para jugadores con diferentes niveles de madurez puede tener éxito en programas de desarrollo de jugadores de fútbol a largo plazo, y puede ayudar a los clubes de fútbol en el proceso de identificación y selección de jugadores a edades tempranas.

Información Complementaria

S1 Archivo. Muestra.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0219355.s001>

(XLSX)

REFERENCIAS

1. Asadi A, Ramirez-Campillo R, Arazi H, Sáez de Villarreal E. (2018). The effects of maturation on jumping ability and sprint adaptations to plyometric training in youth soccer players. *J Sports Sci.* 2018;36(21):2405-11. *pmid:29611771*
2. Stølen T, Chamari K, Castagna C, Wisløff U. (2005). Physiology of Soccer. *Sport Med.* 2005;35(6):501-36.
3. Moran J, Sandercock GRH, Ramírez-Campillo R, Meylan C, Collison J, Parry DA. (2017). A meta-analysis of maturation-related variation in adolescent boy athletes' adaptations to short-term resistance training. *J Sports Sci [Internet].* 2017 Jun 3;35(11):1041-51.
4. Lloyd RS, Oliver JL, Faigenbaum AD, Myer GD, De Ste Croix MBA. (2014). Chronological age vs. *biological maturation: Implications for exercise programming in youth.* *Journal of Strength and Conditioning Research.* 2014;28(5):1454-1464. *pmid:24476778*
5. Radnor JM, Lloyd RS, Oliver JL. (2017). Individual Response to Different Forms of Resistance Training in School-Aged Boys. *J Strength Cond Res.* 2017;31(3):787-97. *pmid:27379963*
6. Sáez de Villarreal E, Suarez-Arrones L, Requena B, Haff GG, Ferrate C. (2015). Effects of Plyometric and Sprint Training on

- Physical and Technical Skill Performance in Adolescent Soccer Players. *J Strength Cond Res.* 2015;29(7):1894-903. *pmid:25635606*
7. Moran J, Sandercock GRH, Ramírez-Campillo R, Todd O, Collison J, Parry DA. (2017). Maturation-Related Effect of Low-Dose Plyometric Training on Performance in Youth Hockey Players. *Pediatr Exerc Sci.* 2017;29(2):194-202. *pmid:27834619*
 8. Chaouachi A, Othman A Ben, Hammami R, Drinkwater EJ, Behm DG. (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 [Internet].* 2014;28(2):401-12. *pmid:23669821*
 9. Meylan CMP, Cronin JB, Oliver JL, Hopkins WG, Contreras B. (2014). The effect of maturation on adaptations to strength training and detraining in 11-15-year-olds. *Scand J Med Sci Sport.* 2014;24(3):156-64.
 10. Lloyd RS, Oliver JL. (2012). The youth physical development model : A new approach to long-term athletic development. *Strength Cond J.* 2012;34(3):61-72.
 11. Lloyd RS, Radnor JM, De Ste Croix MBA, Cronin JB, Oliver JL. (2016). 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.* 2016;30(5):1239-47. *pmid:26422612*
 12. González-Badillo JJ, Sánchez-Medina L. (2010). Movement Velocity as a Measure of Loading Intensity in Resistance Training. *Int J Sports Med.* 2010;31(05):347-52.
 13. Semenick D. (1990). TESTS AND MEASUREMENTS: The T-test. *Strength Cond J.* 1990;12(1).
 14. Kozieł SM, Malina RM. (2018). Modified Maturity Offset Prediction Equations: Validation in Independent Longitudinal Samples of Boys and Girls. *Sport Med.* 2018;48(1):221-36.
 15. Malina RM, Bouchard C, Bar-Or O. (2004). Growth, maturation, and physical activity. *Human Kinetics; 2004.* 712 p.
 16. Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Bailey D a, Beunen GP. (2002). An assessment of maturity from anthropometric measurements. *Med Sci Sports Exerc.* 2002;34(4):689-94. *pmid:11932580*
 17. Sherar LB, Mirwald RL, Baxter-Jones ADG, Thomis M. (2005). Prediction of adult height using maturity-based cumulative height velocity curves. *J Pediatr.* 2005;147(4):508-14. *pmid:16227038*
 18. Malina RM, Kozieł SM. (2014). Validation of maturity offset in a longitudinal sample of Polish boys. *J Sports Sci.* 2014;32(5):424-37. *pmid:24016098*
 19. Cohen J. (1992). A power primer. *Psychol Bull.* 1992;112(1):155-9. *pmid:19565683*
 20. Hopkins WG, Marshall SW, Batterham AM, Hanin J. (2009). Progressive statistics for studies in sports medicine and exercise science. *Med Sci Sports Exerc.* 2009;41(1):3-12. *pmid:19092709*
 21. 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(1):173-7. *pmid:23542878*

Versión Digital