

Article

Entrenamiento Optimizado para el Rendimiento del Salto utilizando el Desequilibrio Fuerza-Velocidad: Cinética de Adaptación Individual

Optimized Training for Jumping Performance Using the Force-Velocity Imbalance: Individual Adaptation Kinetics

Pedro Jiménez-Reyes, Pierre Samozino y Jean-Benoît Morin

RESUMEN

Objetivos: Analizamos los cambios en las variables fuerza-velocidad-potencia y rendimiento del salto en respuesta a un programa de entrenamiento individualizado basado en el desequilibrio fuerza-velocidad (FVimb). En particular, investigamos (i) la cinética de adaptación individual para alcanzar el perfil óptimo y (ii) la cinética de desentrenamiento durante las tres semanas siguientes al final del programa de entrenamiento. **Métodos:** Sesenta sujetos fueron asignados a cuatro subgrupos de acuerdo a su FVimb inicial: alto o bajo déficit de fuerza (FD) y alto o bajo déficit de velocidad (VD). La duración de la intervención del entrenamiento se fijó de forma que cada individuo alcanzara su "Perfil óptimo de fuerza-velocidad (F-v)". Las variables mecánicas y de rendimiento se midieron cada 3 semanas durante el programa, y cada semana después del final del programa individualizado. **Resultados:** Todos los sujetos en los subgrupos de FD mostraron aumentos extremadamente grandes en la fuerza máxima teórica ($+30 \pm 16,6\%$ Media \pm SD; ES = $2,23 \pm 0,28$), reducción del FVimb ($-74,3 \pm 54,7\%$; ES = $2,17 \pm 0,27$) y grandes aumentos en la altura de salto ($+12,4 \pm 7,6\%$; ES = $1,45 \pm 0,23$). Para los subgrupos de VD, observamos aumentos moderados a extremadamente grandes en la velocidad máxima teórica ($15,8 \pm 5,1\%$; ES = $2,72 \pm 0,29$), reducción del FVimb ($-19,2 \pm 6,9\%$; ES = $2,36 \pm 0,35$) y aumentos en la altura de salto ($+10,1 \pm 2,7\%$; ES = $0,93 \pm 0,09$). El número de semanas necesarias para alcanzar el perfil óptimo de F-v ($12,6 \pm 4,6$) se correlacionó con la magnitud del FVimb inicial ($r = 0,82$; $p < 0,01$) para todos los participantes independientemente de su subgrupo inicial. No se observó ningún cambio significativo en las variables mecánicas ni en el rendimiento de los saltos durante el período de desentrenamiento de 3 semanas. **Conclusiones:** Colectivamente, estos resultados proporcionan información útil sobre una prescripción de entrenamiento más específica, individualizada (es decir, basada en el tipo y la magnitud del FVimb) y precisa para el rendimiento del salto. Considerar tanto el contenido como la duración del entrenamiento junto con el FVimb puede permitir una monitorización y periodización del entrenamiento más individualizada, específica y efectiva.

Palabras Clave: Entrenamiento, Relaciones fuerza-velocidad, Squat Jump (SJ)

ABSTRACT

Aims: We analysed the changes in force-velocity-power variables and jump performance in response to an individualized training program based on the force-velocity imbalance (FVimb). In particular, we investigated (i) the individual adaptation kinetics to reach the optimal profile and (ii) de-training kinetics over the three weeks following the end of the training program. **Methods:** Sixty subjects were assigned to four sub-groups according to their initial FVimb: high or low force-deficit (FD) and high or low velocity-deficit (VD). The duration of training intervention was set so that each individual reached their "Optimal force-velocity (F-v) profile". Mechanical and performance variables were measured every 3 weeks during the program, and every week after the end of the individualized program. **Results:** All subjects in the FD sub-groups showed extremely large increases in maximal theoretical force output ($+30 \pm 16.6\%$ Mean \pm SD; ES = 2.23 ± 0.28), FVimb reduction ($-74.3 \pm 54.7\%$; ES = 2.17 ± 0.27) and large increases in jump height ($+12.4 \pm 7.6\%$; ES = 1.45 ± 0.23). For the VD sub-groups, we observed moderate to extremely large increases in maximal theoretical velocity ($+15.8 \pm 5.1\%$; ES = 2.72 ± 0.29), FVimb reduction ($-19.2 \pm 6.9\%$; ES = 2.36 ± 0.35) and increases in jump height ($+10.1 \pm 2.7\%$; ES = 0.93 ± 0.09). The number of weeks needed to reach the optimal F-v profile (12.6 ± 4.6) was correlated to the magnitude of initial FVimb ($r = 0.82$, $p < 0.01$) for all participants regardless of their initial subgroup. No significant change in mechanical variables or jump performance was observed over the 3-week de-training period. **Conclusions:** Collectively, these results provide useful insights into a more specific, individualized (i.e. based on the type and magnitude of FVimb) and accurate training prescription for jumping performance. Considering both training content and training duration together with FVimb may enable more individualized, specific and effective training monitoring and periodization.

Keywords: Training, Strength-speed relations, Squat Jump (SJ)

INTRODUCCIÓN

La capacidad de realizar contracciones musculares balísticas durante saltos, sprints o cambios de dirección determina el rendimiento en numerosas actividades deportivas y corresponde a la capacidad de alcanzar la máxima velocidad en el menor tiempo posible con la propia masa corporal. Está claramente determinado por los altos niveles de fuerza, potencia y velocidad producidos durante la fase de empuje [1-4] y, por lo tanto, está directamente relacionado con las propiedades mecánicas del sistema neuromuscular, y en particular con las capacidades de potencia [5]. Recientemente, se ha demostrado que el rendimiento balístico, como el salto, viene determinado en gran medida por la potencia máxima de salida (P_{max}) que pueden generar los miembros inferiores [6,7], pero también está influenciado por la combinación individual de las capacidades subyacentes para producir fuerza a baja y alta velocidad, conocida como el perfil fuerza-velocidad (F-v) [5,8,9]. Así, la medición de las relaciones F-v individuales y su contribución al rendimiento balístico puede proporcionar una representación mecánica más precisa e integradora de las capacidades de producción de fuerza máxima de los deportistas [5]. Es importante ya que abarcan todo el espectro de F-v, desde la fuerza máxima teórica que puede producirse a velocidades nulas (F_0 , cualidades de fuerza) hasta la velocidad máxima teórica hasta la cual puede producirse la fuerza (v_0 , cualidades de velocidad) [9]. Esto puede conducir a programas de entrenamiento más individualizados y efectivos [9,10].

El enfoque de "perfil potencia-fuerza-velocidad" se basa en relaciones fuerza- y potencia-velocidad que caracterizan las máximas capacidades mecánicas de los sistemas neuromusculares de los miembros inferiores [9]. Como se muestra teóricamente [5,11] y se confirma experimentalmente [8], existe, para cada individuo, un perfil óptimo de F-v que maximiza el rendimiento balístico de las extremidades inferiores (por ejemplo, el salto vertical) y representa el equilibrio óptimo entre las cualidades de fuerza y velocidad durante el salto [5,8,12]. La diferencia relativa entre los perfiles F-v reales y óptimos para un individuo dado representa la magnitud y la dirección del equilibrio desfavorable entre las cualidades de fuerza y velocidad (es decir, el desequilibrio fuerza-velocidad, *FVimb* en %), lo que permite la determinación individual del déficit de fuerza o velocidad. El perfil individual real de F-v y la P_{max} se pueden determinar a partir de una serie de 2 a 6 saltos verticales con carga [8,12-14], mientras que el perfil óptimo de F-v se puede calcular utilizando las ecuaciones de Samozino et al. [5,8]. Para una P_{max} dada, se ha demostrado que el rendimiento del salto vertical está negativamente correlacionado con el *FVimb*, lo que apoya la importancia de considerar esta característica individual además de la P_{max} cuando se diseñan programas de entrenamiento para mejorar el rendimiento balístico [5,8,9].

Para el perfil de F-v, cabe señalar que (i) existe un perfil óptimo de F-v que maximiza el rendimiento balístico independientemente de la P_{max} para cada deportista; (ii) el perfil F-v se relaciona con el entrenamiento de fuerza específico dirigido al *FVimb* [10]; y (iii) el perfil de F-v puede diferenciar entre deportistas y caracterizar su rendimiento

[15,16]. La cuantificación individualizada del *FVimb* ha demostrado ser un método eficaz para la prescripción del entrenamiento, adaptado a las necesidades individuales de cada deportista [10]. Un factor interesante en relación con el perfil de F-v cuando se evalúa durante el salto es que el perfil de F-v individual responde a un entrenamiento específico correspondiente a las diversas secciones del espectro F-v, mostrando una mejora en el rendimiento balístico a través de un cambio efectivo en el perfil individual de F-v hacia el valor óptimo (reducción del *FVimb*), y/o un aumento en la *Pmax* [8,10]. Por ejemplo, cuando se pretende trabajar en un déficit de fuerza, el entrenamiento debe centrarse en el lado de la fuerza del espectro de F-v para aumentar la *Pmax* y disminuir el *FVimb*. Esto puede hacerse aumentando la capacidad de producción de fuerza a bajas velocidades (*F0*) como prioridad [5]. Por el contrario, cuando el objetivo es trabajar en un déficit de velocidad (en el otro extremo del espectro de F-v), el entrenamiento debe estar dirigido a aumentar la *Pmax* mediante la mejora de las capacidades de producción de fuerza a alta velocidad (*v0*). Del mismo modo, cuando se pretende trabajar en todo el espectro de F-v, el entrenamiento debe centrarse en aumentar la *Pmax* como prioridad [2,17] mientras se mantiene el perfil de F-v cerca del valor óptimo (y por lo tanto el *FVimb* cerca de 0%).

Sobre esta base, Jiménez-Reyes et al. (2017) [10] sugirieron que el entrenamiento de fuerza específico dirigido a mejorar el rendimiento balístico debería diseñarse de forma individual tanto para reducir el *FVimb* (es decir, para aumentar el componente *F0* o *v0* del perfil de F-v de un individuo de forma preferente cambiarlo hacia su perfil óptimo) como para aumentar la *Pmax*. Este entrenamiento específico se definió como "entrenamiento optimizado" o "entrenamiento individualizado basado en el *FVimb*", ya que el objetivo era adaptar la prescripción del entrenamiento al perfil de F-v individual del deportista. Específicamente, en este estudio piloto, los participantes fueron asignados a tres grupos de intervención de entrenamiento (cada uno de 9 semanas de duración) basados en su *FVimb* inicial: (i) un grupo optimizado dividido en subgrupos de déficit de velocidad, déficit de fuerza y bien equilibrado basados en el *FVimb* de los sujetos; (ii) un grupo "no optimizado" para el cual el programa de entrenamiento no estaba basado específicamente en el *FVimb*; y (iii) un grupo de control (sin entrenamiento específico). Este estudio mostró que un programa de entrenamiento optimizado e individualizado específicamente dirigido al *FVimb* era más eficiente para mejorar el rendimiento del salto que el entrenamiento de fuerza tradicional común a todos los sujetos.

A pesar de ser, hasta la fecha, el único estudio sobre los efectos de un programa de entrenamiento optimizado dirigido específicamente al *FVimb* [10], este protocolo tenía tres limitaciones principales. En primer lugar, la duración fija del entrenamiento de 9 semanas para todos los sujetos no era la ideal. Aunque las tendencias en los resultados fueron muy claras y todos los sujetos del grupo optimizado respondieron como se hipotetizó sólo algunos de ellos se acercaron al perfil óptimo al final de las 9 semanas y se observó una variabilidad que puede haber dependido de varios factores tales como los antecedentes de entrenamiento, el tiempo necesario para la adaptación o la magnitud del déficit inicial de F-v. Por lo tanto, es razonable sugerir que la duración del programa *también* debería ser individualizada y ser tan larga como sea necesario para que *cada individuo* alcance un *FVimb* cercano a 0 (considerando que un perfil óptimo de F-v es considerado como $\pm 10\%$ del *FVimb*). En segundo lugar, en el estudio anterior, todos los sujetos mejoraron su altura de salto y redujeron el *FVimb*, pero el nivel de mejora varió cuando se compararon los subgrupos de déficit de velocidad y de fuerza; el subgrupo de déficit de velocidad tendió a alcanzar casi el perfil óptimo en el período de entrenamiento fijo de 9 semanas, mientras que el subgrupo de déficit de fuerza no estaba tan cerca del perfil óptimo. Es probable que el tiempo requerido para los ajustes a nivel estructural (principalmente relacionados con *F0*) sea mayor [18] que el requerido para las adaptaciones neuromusculares más agudas (más relacionadas con *F0* y *v0*). El siguiente paso para una individualización completa sería, por lo tanto, considerar no sólo el contenido del entrenamiento, sino también la duración del mismo, y tener en cuenta la cinética de respuesta al entrenamiento individual. Esta individualización completa y dinámica proporcionaría la posibilidad de modificar el entrenamiento para aquellos sujetos que se adaptaron más rápidamente que otros y permitir cambios en los subgrupos durante los períodos de entrenamiento para adaptar con precisión la cinética de respuesta de cada individuo. Finalmente, Jiménez-Reyes et al. (2017) [10] estudiaron la adaptación del entrenamiento, pero no consideraron qué pasaría después del período de entrenamiento, es decir, cómo cambiaron los valores individuales del *FVimb* después del cese del entrenamiento específico. Esta pregunta es crucial, ya que no se sabe si una disminución significativa en el *FVimb* será sostenida (y si es así, por cuánto tiempo) o revertida (y si es así, qué tan rápido). Esta información puede ayudar a diseñar y periodizar mejor el entrenamiento específico para el rendimiento balístico utilizando el enfoque del desequilibrio de fuerza-velocidad tanto en los deportes individuales como en los de equipo, por ejemplo, durante los períodos de tapering o los campos de entrenamiento que preparan para las grandes competiciones. Considerando la necesidad de replicación en estudios científicos, y las limitaciones y las incógnitas discutidas anteriormente, decidimos que se justificaba un estudio de "replicación" con un diseño mejorado.

Los objetivos de este estudio fueron (i) analizar la cinética de adaptación individual en el perfil de fuerza-velocidad-potencia hasta que cada sujeto alcanzara su perfil óptimo, y estudiar la variabilidad de la duración del entrenamiento asociada y adaptar el contenido del entrenamiento de los sujetos durante el protocolo en caso de cambios en las categorías de déficit; y (ii) estudiar la cinética individual del desentrenamiento durante las tres semanas siguientes al programa de entrenamiento. Se planteó la hipótesis de que, como observaron Jiménez-Reyes et al. (2017) [10], el contenido del entrenamiento individualizado basado en el *FVimb* induciría claras mejoras en la altura del salto, y que la individualización más completa (en términos de tiempo y contenido de entrenamiento) conduciría a mejoras aún más sistemáticas y claras

en el rendimiento. Además, basándonos en nuestros resultados anteriores, planteamos la hipótesis de que, en igualdad de condiciones, los individuos con déficit de fuerza necesitarían más tiempo para alcanzar su perfil óptimo que los que tienen déficit de velocidad. Por último, dado que los aspectos de desentrenamiento de este estudio eran novedosos, no se pudo formular ninguna hipótesis específica para esta parte.

MATERIALES Y MÉTODOS

Participantes

Sesenta deportistas entrenados (edad = $23,7 \pm 3,7$ años, masa corporal = $76,4 \pm 9,3$ kg, altura = $1,79 \pm 0,05$ m, SJ = $0,32 \pm 0,03$ m) dieron su consentimiento informado por escrito para participar en este estudio, que fue aprobado por el comité local de ética de la Universidad Católica de San Antonio (Murcia) de acuerdo con la Declaración de Helsinki. Todos los sujetos eran jugadores profesionales o semi-profesionales de fútbol y rugby. Todos los deportistas tenían un antecedente de entrenamiento de fuerza de al menos un año, estaban altamente entrenados (un volumen de entrenamiento semanal promedio de 12 horas en el momento del estudio) y estaban familiarizados con los procedimientos de prueba.

El presente estudio utilizó un seguimiento longitudinal con diseño pre-post con sesiones de prueba antes de alcanzar el perfil óptimo de F-v de acuerdo con los umbrales porcentuales de *FVimb*. Todas las pruebas se realizaron a la misma hora del día, de 17:00 a 21:00 horas. Cada sujeto se sometió a una evaluación antropométrica y realizó squat jumps con carga (SJ) para determinar las relaciones de F-v individuales, los valores de *Pmax* y el *FVimb* (véase la siguiente sección). El *FVimb* se utilizó como referencia para asignar a los participantes a diferentes grupos y subgrupos de entrenamiento al inicio de la intervención. Dado que la hipótesis era que la mejora del rendimiento resultaría de aumentar la *Pmax* y/o disminuir el *FVimb* [9], y debido al trabajo previo basado en el *FVimb* [10], el *FVimb* fue el criterio utilizado para diseñar programas de entrenamiento individualizados en este estudio.

Procedimiento de Prueba y Procesamiento de Datos

Relaciones de F-v del sistema neuromuscular de las extremidades inferiores en Squat Jump (SJ).

Para determinar las relaciones de F-v individuales, cada sujeto realizó SJs máximos verticales sin cargas y con cinco a ocho cargas adicionales que van de 15 a 90 kg en un orden aleatorio. La prueba se realizó en una máquina Smith (Multipower Fitness Line, Peroga, España) que permitió un desplazamiento vertical suave de la barra a lo largo de un recorrido vertical fijo. Antes de cada condición de SJ sin carga adicional, los participantes fueron instruidos a pararse derechos y quietos en el centro del área de salto. Mantuvieron las manos en las caderas para los saltos sin carga y sobre la barra para los saltos con carga, esta posición de las manos permaneció igual durante todo el movimiento. A los sujetos se les pidió que mantuvieran su posición inicial individual (aproximadamente 90° de ángulo de rodilla) durante unos 2 seg y luego que aplicaran la fuerza lo más rápido posible y saltaran a la altura máxima. No se permitió ningún contramovimiento y se verificó visualmente. Si no se cumplían todos estos requisitos, la prueba se repetía. Se realizaron dos pruebas válidas con cada carga con dos minutos de recuperación entre las pruebas y de cuatro a cinco minutos entre las condiciones de carga.

Los parámetros mecánicos medios se calcularon para cada condición de carga utilizando el método de Samozino [11], basado en la segunda ley de movimiento de Newton. Este método establece que la fuerza media (*F*), la velocidad (*v*) y la potencia (*P*) pueden calcularse durante un salto vertical a partir de la medición de la altura del salto y de las posiciones del squat jump. La altura de salto se obtuvo utilizando un sistema de medición óptica OptoJump (Microgate, Bolzano, Italia). La fuerza, la velocidad y la potencia se calcularon mediante tres ecuaciones, teniendo en cuenta sólo variables de entrada simples: masa corporal, altura del salto y distancia de empuje. Esta última corresponde a la distancia recorrida por el centro de masa durante el empuje, es decir, la extensión de los miembros inferiores desde la posición inicial hasta el despegue [11], y se midió a priori para cada sujeto como la diferencia entre la longitud de los miembros inferiores extendidos (cresta ilíaca hasta los dedos de los pies con tobillo en flexión plantar) y la longitud en la posición inicial individual estandarizada (distancia vertical de la cresta ilíaca al suelo).

Las relaciones lineales de F-v se determinaron mediante las mejores pruebas de cada condición de carga y las regresiones lineales por mínimos cuadrados. Las curvas de F-v fueron extrapoladas para obtener *F0* (luego normalizadas a masa corporal) y *v0*, que corresponden respectivamente a las interceptaciones de la curva de F-v con los ejes de fuerza y velocidad. El perfil de F-v, que es la pendiente de la relación lineal de F-v, se calculó entonces a partir de *F0* y *v0* según Samozino et al. (2012) [5]. Se determinaron los valores de la *Pmax* (normalizados a masa corporal) como: $Pmax = F0 \cdot v0/4$ [5,6,8]. A partir de los valores de la *Pmax* y la distancia de empuje, se calculó para cada sujeto un perfil teórico óptimo individual de F-v (normalizado a masa corporal, en N.s.kg-1.m-1), maximizando el rendimiento del salto vertical, utilizando

las ecuaciones propuestas por Samozino et al. (2012) [5]. El desequilibrio de F-v ($FVimb$, en %), fue entonces calculado individualmente como el recientemente propuesto por Samozino et al.

$$(2014) [8] \quad Fv_{imb} = 100 \cdot \left| 1 - \frac{S_{Fv}}{S_{Fvopt}} \right| \quad (1)$$

Un valor de $FVimb$ alrededor de 0% indica un perfil de F-v igual al 100% del perfil óptimo (equilibrio perfecto entre las cualidades de fuerza y velocidad), mientras que un valor de perfil de F-v mayor o menor que el óptimo indica un perfil demasiado orientado hacia las capacidades de fuerza o velocidad, respectivamente. La fiabilidad de estas variables y enfoques ha sido demostrada anteriormente (para más detalles, ver [8,11,12,14]).

Diseño Experimental

Después de las pruebas iniciales de sus propiedades individuales de F-v, los participantes fueron asignados a grupos de Déficit de Fuerza (FD) o Déficit de Velocidad (VD), y dentro de cada grupo a un subgrupo de alto déficit de fuerza (HFD) ($n = 18$; masa corporal = $74,0 \pm 7,9$ kg, altura = $1,79 \pm 0,06$ m, SJ = $0,31 \pm 0,03$ m); un subgrupo de alto déficit de velocidad (HVD) ($n = 10$; masa corporal = $83,8 \pm 9,0$ kg, altura = $1,81 \pm 0,03$ m, SJ = $0,33 \pm 0,02$ m), un subgrupo de bajo déficit de fuerza ($n = 18$; masa corporal = $71,9 \pm 8,8$ kg, altura = $1,79 \pm 0,06$ m, SJ = $0,32 \pm 0,03$ m); y un subgrupo de bajo déficit de velocidad (LVD) ($n = 14$; masa corporal = $80,0 \pm 7,7$ kg, altura = $1,79 \pm 0,05$ m, SJ = $0,34 \pm 0,03$ m). El programa de entrenamiento fue ajustado para los participantes en cada grupo de acuerdo a su $FVimb$. El programa de entrenamiento fue ligeramente diferente en cuanto a intensidad y similar en volumen, aunque los ejercicios fueron generalmente familiares para casi todos los participantes. La intervención de entrenamiento se realizó a mitad de la temporada de competición para todos los participantes.

Durante el periodo de entrenamiento, cada grupo siguió una intervención de entrenamiento según el umbral de $FVimb$ y los ratios de trabajo propuestos por Jiménez-Reyes et al. (2017) [10], centrándose en diferentes secciones del espectro de F-v teniendo en cuenta las necesidades de los deportistas. Por ejemplo, el subgrupo HFD realizó principalmente entrenamiento orientado a la fuerza (carga muy alta), mientras que el subgrupo HVD realizó entrenamiento orientado a la velocidad (balístico, con una velocidad muy alta de extensión de las extremidades). Los subgrupos de LFD y LVD recibieron un entrenamiento similar, pero con un cambio en el centro del espectro de F-v. Las características del entrenamiento, según el umbral de $FVimb$, se detallan en Jiménez-Reyes et al. [10]. La duración de la intervención de entrenamiento no se fijó de antemano, sino que se estableció como la duración necesaria para que cada individuo alcanzara un $FVimb$ cercano a 0 (se aceptó un "perfil óptimo de F-v" para valores de $FVimb$ de $\pm 10\%$, correspondiente al umbral de categoría "bien equilibrado" propuesto por Jiménez-Reyes et al. (2017) [10]). Durante las intervenciones de entrenamiento, el perfil de F-v fue medido cada 3 semanas, monitoreando todas las variables del perfil de F-v y del $FVimb$. Cuando los sujetos alcanzaron un nuevo umbral de $FVimb$ cambiaron el grupo de entrenamiento y por lo tanto el contenido del entrenamiento de acuerdo al nuevo umbral. Finalmente, cuando los deportistas estaban muy cerca de su perfil óptimo de F-v, el perfil de F-v fue monitoreado cada 2 semanas cuando estaban dentro del 5-10% del 90% (LFD) o 110% (LVD) y luego cada semana cuando estaban dentro del 0-5% del 90% (LFD) o 110% (LVD). Este monitoreo frecuente nos permitió determinar con precisión el tiempo exacto necesario para alcanzar el perfil óptimo de F-v. Una vez que los sujetos alcanzaron su perfil óptimo de F-V, suspendieron el entrenamiento específico destinado a reducir el $FVimb$ (pero no su práctica deportiva habitual, que continuó como durante la fase experimental). Durante la intervención del estudio, todos los jugadores realizaron su entrenamiento deportivo específico habitual (por ejemplo, técnica, táctica, juego reducido) con un volumen y un entrenamiento específico similares, que fue cuidadosamente controlado. Durante las siguientes 3 semanas (los sujetos se abstuvieron voluntariamente del entrenamiento de fuerza durante 3 semanas mientras continuaban con sus actividades deportivas específicas y competiciones) estudiamos el proceso de desentrenamiento potencial monitorizando las variables del perfil de F-v cada semana.

Intervención de Entrenamiento

Considerando los elementos antes mencionados de la especificidad del entrenamiento para mejorar los aspectos de fuerza o velocidad máxima del espectro de F-v (p.ej. [17,19-26]), los grupos de entrenamiento HFD, LFD, HVD y LVD se establecieron de acuerdo con el $FVimb$ de los individuos. Para cada uno de estos subgrupos, consideramos no sólo el tipo de déficit (ya sea en fuerza o en velocidad), sino también su magnitud. Por lo tanto, en cada subgrupo, el programa de entrenamiento se estableció de acuerdo a umbrales específicos de $FVimb$, como se detalla en la Tabla 1, (Jiménez-Reyes et al.) [10].

Tabla 1. Categorías de desequilibrio de fuerza-velocidad, umbrales y relaciones de carga asociadas al entrenamiento de fuerza, junto con el objetivo de carga para el espectro de F-v y ejercicios y cargas de entrenamiento para cada ejercicio.

<i>FV_{imb}</i> Categories	<i>F-v Profile in % of OPTIMAL Thresholds (%)</i>	<i>Training loads ratio*</i>	<i>Loading focus/target</i>	<i>Exercises</i>	<i>Training loads</i>
High Force Deficit	<60	3 Strength	Strength	Back Squat	80–90% 1RM
		2 Strength-Power		Leg Press	90–95% 1RM
		1 Power		Deadlift	90–95% 1RM
Low Force Deficit	60–90	2 Strength	Strength-Power	Clean Pull	80% 1RM
		2 Strength-Power		Deadlift	80% 1RM
		2 Power		SJ	> 70% of BW
Well-Balanced	> 90–110	1 Strength	Power	CMJ	> 80% of BW
		1 Strength-Power		SJ	20–30% of BW
		2 Power		CMJ	35–45% of BW
		1 Power-Speed		Single leg SJ	BW
Low Velocity Deficit	> 110–140	1 Speed	Power-Speed	Single leg CMJ	10% of BW
		2 Speed		Clean Pull Jump	65% 1 RM
		2 Power-Speed		Depth Jumps	
		2 Power		SJ	BW
		2 Power		CMJ	10% of BW
High Velocity Deficit	> 140	3 Speed	Speed	Maximal VBJ	
		2 Power-Speed		Horizontal SJ	< BW
		1 Power		CMJ with arms	BW

Abbreviations: *FV_{imb}*, F-v imbalance; RM, repetition maximum; SJ, Squat Jump; BW, body weight; CMJ, Countermovement Jump; VBJ, Vertical Box Jump.

* Ratio based on six exercises/wk, three sets/exercise and 18 sets/wk.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t001>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t001>

De acuerdo con hallazgos anteriores que mostraban mejoras en la fuerza máxima, la potencia y el rendimiento balístico después de un entrenamiento específico (por ejemplo, [17,20]), los programas de entrenamiento individualizados propuestos aquí implicaban un esfuerzo máximo y se diseñaron principalmente ajustando las cargas para variar la velocidad de movimiento y, a su vez, para apuntar a diferentes partes de la curva de F-v. Por ejemplo, los ejercicios de "Fuerza" utilizaban cargas elevadas de $\sim F0$ movidas a baja velocidad, como $>80\%$ de una repetición máxima en sentadilla, mientras que los ejercicios de "Velocidad" utilizaban una fuerza de \sim masa corporal movida a alta velocidad, mejorada con ejercicios que inducían una velocidad de extensión de las extremidades inferiores superior a la de un squat jump, utilizando el ciclo de estiramiento acortamiento (p. ej., CMJ) o los empujes asistidos/de baja resistencia (p. ej., SJ asistido por banda o rodillo horizontal asistido [27]). Para más detalles, véase la Tabla 1.

Análisis Estadísticos

Todos los datos se presentan como media \pm SD. Con el fin de evaluar claramente el significado práctico de los resultados, se analizaron los datos utilizando el enfoque de inferencia basado en la magnitud [28].

Se evaluaron las diferencias dentro del grupo en pre- y post-entrenamiento en la altura del salto, el perfil de F-v en (%) del F-v óptimo, $F0$ y $v0$ mediante tamaños del efecto estandarizados (ES). Las magnitudes de los cambios dentro del grupo se interpretaron utilizando valores: trivial ($< 0,20$), pequeño ($0,20 < 0,60$), moderado ($0,60 < 1,20$), grande ($1,20 < 2,00$) y extremadamente grande ($> 2,00$) para la variación entre deportistas en el pre (es decir, el cambio más pequeño que vale la pena).

La probabilidad de que estas diferencias existieran realmente se evaluó entonces mediante una inferencia cualitativa basada en la magnitud [29]. Las inferencias cualitativas se basaron en las posibilidades cuantitativas de beneficio descritas por Hopkins et al. (2009) [28]. Las probabilidades clínicas son el porcentaje de probabilidades de que un efecto observado sea clínicamente positivo/trivial/negativo; por ejemplo, (40/40/20%) significa que un efecto tiene un 40% de probabilidades de ser positivo, un 40% de probabilidades de ser trivial y un 20% de probabilidades de ser negativo. Las probabilidades de que las diferencias fueran mayores, menores o similares a la menor diferencia que valiera la pena se evaluaron cualitativamente como: posiblemente, 25% a 74,9%; probable, 75% a 94,9%; muy probable, 95% a 99,5%; y más (extremadamente) probable, $>99,5\%$.

También se realizó un análisis de regresión múltiple por pasos para probar la asociación entre los cambios individuales de FV_{imb} y P_{max} (variables independientes) con los cambios de altura de salto (variable dependiente).

Resultados

En las Tablas 2 y 3 se muestran los valores medios \pm SD para todas las variables de rendimiento y mecánicas pre- y post-intervención de entrenamiento y para el período de 3 semanas de desentrenamiento, obtenidos mediante el monitoreo de los perfiles de F-v cada semana, para todos los grupos y subgrupos, junto con las inferencias cualitativas para los cambios dentro del grupo. Durante el período de desentrenamiento, todos los parámetros mantuvieron sus valores post-entrenamiento con diferencias mínimas.

Tabla 2. Cambios en las variables asociadas al perfil de Fuerza-velocidad en diferentes subgrupos.

	Pre	Opt	Weeks	Post - Pre		
	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	% $\Delta \pm SD$	ES; $\pm 90\%$ CL	Inference and Probability
F-v (%) Optimal F-v						
Force Deficit	56.4 \pm 15.4	90.5 \pm 0.8	12.6 \pm 4.6	74.3 \pm 54.7	2.17 \pm 0.27	Ext. Large \uparrow most likely
HFD	43.1 \pm 8.6	90.4 \pm 0.7	15.9 \pm 3.8	118.1 \pm 46.5	5.27 \pm 0.39	Ext. Large \uparrow most likely
LFD	69.6 \pm 6.5	90.6 \pm 0.8	9.2 \pm 2.0	31.1 \pm 11.7	3.09 \pm 0.38	Ext. Large \uparrow most likely
Velocity Deficit	135.5 \pm 10.9	108.8 \pm 1.3	8.7 \pm 2.1	-19.2 \pm 6.9	-2.36 \pm 0.35	Ext. Large \downarrow most likely
HVD	146.1 \pm 4.8	108.7 \pm 1.3	9.6 \pm 1.9	-25.5 \pm 2.4	-7.19 \pm 0.52	Ext. Large \downarrow most likely
LVD	128.0 \pm 7.1	108.9 \pm 1.4	8.0 \pm 2.1	-14.6 \pm 5.3	-2.54 \pm 0.15	Ext. Large \downarrow most likely
P_{max} (W·kg⁻¹)						
Force Deficit	27.0 \pm 3.4	27.0 \pm 2.9		0.44 \pm 6.35	0.00 \pm 0.15	Trivial very likely
HFD	28.5 \pm 3.7	27.6 \pm 3.7		-2.99 \pm 7.19	-0.24 \pm 0.21	Small \downarrow possibly
LFD	25.5 \pm 2.1	26.4 \pm 1.8		3.87 \pm 2.54	0.44 \pm 0.12	Small \uparrow most likely
Velocity Deficit	24.8 \pm 3.3	26.7 \pm 3.7		7.79 \pm 2.23	0.56 \pm 0.06	Small \uparrow most likely
HVD	25.9 \pm 2.7	27.9 \pm 3.0		20.2 \pm 2.41	0.68 \pm 0.15	Moderate \uparrow most likely
LVD	24.0 \pm 3.6	25.9 \pm 4.0		7.87 \pm 1.81	0.49 \pm 0.07	Moderate \uparrow most likely
F_0 (N·kg⁻¹)						
Force Deficit	30.2 \pm 3.8	38.9 \pm 3.0		30.3 \pm 16.6	2.23 \pm 0.28	Ext. Large \uparrow most likely
HFD	27.6 \pm 3.5	39.5 \pm 3.7		44.1 \pm 11.7	3.24 \pm 0.29	Ext. Large \uparrow most likely
LFD	32.9 \pm 1.7	38.3 \pm 2.0		16.5 \pm 5.14	3.00 \pm 0.36	Ext. Large \uparrow most likely
Velocity Deficit	44.7 \pm 4.4	41.6 \pm 4.0		-6.77 \pm 4.08	-0.68 \pm 0.15	Moderate \downarrow most likely
HVD	47.3 \pm 2.4	42.4 \pm 2.8		-10.4 \pm 2.04	-1.85 \pm 0.19	Large \downarrow most likely
LVD	42.8 \pm 4.5	41.1 \pm 4.8		-4.15 \pm 2.96	-0.37 \pm 0.13	Small \downarrow very likely
v_0 (m·s⁻¹)						
Force Deficit	3.63 \pm 0.69	2.77 \pm 0.11		-21.4 \pm 12.7	-1.22 \pm 0.27	Large \downarrow most likely
HFD	4.17 \pm 0.59	2.78 \pm 0.13		-32.1 \pm 8.5	-2.25 \pm 0.37	Ext. Large \downarrow most likely
LFD	3.10 \pm 0.20	2.76 \pm 0.07		-10.7 \pm 4.3	-1.61 \pm 0.31	Large \downarrow most likely
Velocity Deficit	2.21 \pm 0.12	2.56 \pm 0.14		15.8 \pm 5.1	2.72 \pm 0.29	Ext. Large \uparrow most likely
HVD	2.18 \pm 0.12	2.62 \pm 0.12		20.2 \pm 2.4	3.30 \pm 0.18	Ext. Large \uparrow most likely
LVD	2.24 \pm 0.12	2.52 \pm 0.13		12.6 \pm 3.9	2.13 \pm 0.29	Ext. Large \uparrow most likely
Jump Height (m)						
Force Deficit	0.32 \pm 0.03	0.36 \pm 0.03		12.5 \pm 7.6	1.45 \pm 0.23	Large \uparrow most likely
HFD	0.31 \pm 0.03	0.36 \pm 0.04		17.1 \pm 8.1	1.76 \pm 0.33	Large \uparrow most likely
LFD	0.33 \pm 0.02	0.35 \pm 0.02		7.8 \pm 2.8	1.27 \pm 0.17	Large \uparrow most likely
Velocity Deficit	0.33 \pm 0.03	0.36 \pm 0.04		10.1 \pm 2.7	0.93 \pm 0.09	Moderate \uparrow most likely
HVD	0.34 \pm 0.02	0.36 \pm 0.03		11.6 \pm 2.8	1.12 \pm 0.13	Moderate \uparrow most likely
LVD	0.32 \pm 0.03	0.35 \pm 0.04		9.1 \pm 2.2	0.78 \pm 0.09	Moderate \uparrow most likely

Values are mean \pm standard deviation, percent change \pm standard deviation and standardised effect size; $\pm 90\%$ confidence limits. Abbreviations: \bar{x} , mean; SD, standard deviation, % Δ , percent change; ES, effect size; 90% CL, 90% confidence limits; Ext, extremely; \uparrow , positive effect; \downarrow , negative effect; P_{max} , maximal power output; W, watt; kg, kilogramme; F_0 , theoretical maximal force; N, newton; v_0 , theoretical maximal velocity; m, metre; s, second; Opt, moment at each individual reach a FV_{imb} close to 0 (considering that an "Optimal F-v profile" was accepted for values of FV_{imb} of $\pm 10\%$, which corresponds to the "Well-balanced" category. Qualitative inferences are trivial (< 0.20), small ($0.20 - < 0.60$), moderate ($0.60 - < 1.20$), large ($1.20 - < 2.00$) and extremely large (> 2.00): possibly, 25 - < 75 ; likely, 75 - $< 95\%$; very likely, 95 - $< 99.5\%$; most likely, > 99.5 . Note: weeks to Optimal FV profile were the same than the first variable for all the variables.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t002>

Los valores son media \pm desviación estándar, cambio porcentual \pm desviación estándar, y tamaño del efecto estandarizado; límites de confianza $\pm 90\%$. Abreviaturas: \bar{x} , media; SD, desviación estándar; % Δ , cambio porcentual; ES, tamaño del efecto; 90% CL, límite de confianza de 90%; Ext, extremadamente; \uparrow , efecto positivo; \downarrow , efecto negativo; P_{max} , potencia máxima de salida; W, watt; kg, kilogramo; F_0 , fuerza máxima teórica; N, newton; v_0 , velocidad máxima teórica; m, metro; s, segundo; Opt, momento en que un individuo alcanza un FV_{imb} cerca de 0 (considerando que un "Perfil óptimo de F-v" se

aceptó a valores de FVimb de $\pm 10\%$, lo que corresponde a la categoría “Bien equilibrado”). Las inferencias cualitativas son trivial ($< 0,20$), pequeño ($0,20 < 0,60$), moderado ($0,60 < 1,20$), grande ($1,20 < 2,00$) y extremadamente grande ($> 2,00$); posiblemente, $25\% < 75\%$; probable, $75\% < 95\%$; muy probable, $95\% < 99,5\%$; y más probable, $>99,5\%$. Nota: semanas hasta el perfil óptimo de FV fueron las mismas que las de la primera variable para todas las variables.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t002>

Tabla 3. Cambios en las variables asociadas al perfil de Fuerza-velocidad en diferentes subgrupos y efectos de desentrenamiento.

		Training		Detraining		
		OPT	WEEK 1	WEEK 2	WEEK 3	
		$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	$\bar{x} \pm SD$	
FD	F_0 (N·kg ⁻¹)	38.9 ± 3.0	38.6 ± 2.9	38.4 ± 2.9	38.1 ± 3.0	
	v_0 (m·s ⁻¹)	2.77 ± 0.11	2.80 ± 0.11	2.80 ± 0.11	2.82 ± 0.11	
	P_{max} (W·kg ⁻¹)	27.0 ± 2.9	27.1 ± 3.0	26.9 ± 3.0	26.8 ± 2.9	
	FV _{IMB} (%)	90.5 ± 0.8	88.8 ± 1.2	88.2 ± 1.2	87.2 ± 1.6	
	SJ (m)	0.36 ± 0.03	0.36 ± 0.03	0.35 ± 0.03	0.35 ± 0.03	
HFD	F_0 (N·kg ⁻¹)	39.5 ± 3.7	39.2 ± 3.7	38.9 ± 3.7	38.5 ± 3.8	
	v_0 (m·s ⁻¹)	2.78 ± 0.13	2.82 ± 0.13	2.82 ± 0.13	2.84 ± 0.13	
	P_{max} (W·kg ⁻¹)	27.6 ± 3.7	27.7 ± 3.7	27.5 ± 3.8	27.4 ± 3.7	
	FV _{IMB} (%)	90.4 ± 0.7	88.4 ± 0.8	87.8 ± 0.9	86.3 ± 1.3	
	SJ (m)	0.36 ± 0.04	0.36 ± 0.04	0.36 ± 0.04	0.36 ± 0.04	
LFD	F_0 (N·kg ⁻¹)	38.3 ± 2.0	38.1 ± 1.9	37.8 ± 1.9	37.6 ± 1.8	
	v_0 (m·s ⁻¹)	2.76 ± 0.07	2.79 ± 0.08	2.79 ± 0.08	2.79 ± 0.09	
	P_{max} (W·kg ⁻¹)	26.4 ± 1.8	26.5 ± 1.8	26.4 ± 1.7	26.3 ± 1.7	
	FV _{IMB} (%)	90.6 ± 0.8	89.3 ± 1.4	88.6 ± 1.2	88.1 ± 1.4	
	SJ (m)	0.35 ± 0.02	0.35 ± 0.02	0.35 ± 0.02	0.35 ± 0.02	
VD	F_0 (N·kg ⁻¹)	41.6 ± 4.1	41.6 ± 4.0	41.5 ± 4.0	41.4 ± 4.0	
	v_0 (m·s ⁻¹)	2.56 ± 0.14	2.56 ± 0.14	2.55 ± 0.14	2.54 ± 0.14	
	P_{max} (W·kg ⁻¹)	26.7 ± 3.7	26.7 ± 3.7	26.5 ± 3.7	26.4 ± 3.7	
	FV _{IMB} (%)	108.8 ± 1.3	109.1 ± 1.4	109.2 ± 1.5	109.2 ± 1.5	
	SJ (m)	0.36 ± 0.04	0.36 ± 0.04	0.36 ± 0.04	0.36 ± 0.04	
HVD	F_0 (N·kg ⁻¹)	42.4 ± 2.8	42.3 ± 2.7	42.2 ± 2.7	42.0 ± 2.7	
	v_0 (m·s ⁻¹)	2.62 ± 0.12	2.63 ± 0.13	2.62 ± 0.12	2.62 ± 0.12	
	P_{max} (W·kg ⁻¹)	27.9 ± 3.0	27.9 ± 3.0	27.7 ± 3.0	27.6 ± 2.9	
	FV _{IMB} (%)	108.7 ± 1.3	108.5 ± 1.5	108.3 ± 1.5	108.1 ± 1.4	
	SJ (m)	0.38 ± 0.03	0.38 ± 0.03	0.38 ± 0.03	0.38 ± 0.03	
LVD	F_0 (N·kg ⁻¹)	41.1 ± 4.8	41.2 ± 4.7	41.1 ± 4.7	41.0 ± 4.7	
	v_0 (m·s ⁻¹)	2.52 ± 0.13	2.51 ± 0.13	2.49 ± 0.13	2.49 ± 0.13	
	P_{max} (W·kg ⁻¹)	25.9 ± 4.0	25.9 ± 4.0	25.7 ± 4.0	25.6 ± 4.0	
	FV _{IMB} (%)	108.9 ± 1.4	109.5 ± 1.1	109.9 ± 1.1	109.9 ± 0.9	
	SJ (m)	0.35 ± 0.04	0.35 ± 0.04	0.35 ± 0.04	0.35 ± 0.04	

Values are mean \pm standard deviation. Abbreviations: \bar{x} , mean; SD, standard deviation; P_{max} , maximal power output; W, watt; kg, kilogramme; OPT, moment at each individual reach a FV_{imb} close to 0 (considering that an “Optimal F-v profile” was accepted for values of FVimb of $\pm 10\%$, which corresponds to the “Well-balanced” category); F_0 , theoretical maximal force; N, newton; v_0 , theoretical maximal velocity; FV_{imb}, Force-velocity imbalance; m, metre; s, second; HFD, High Force Deficit Sub-group; HVD, High Velocity Deficit Sub-group; LFD, Low Force Deficit Sub-group; LVD, Low Velocity Deficit Sub-group.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t003>

Los valores son media \pm desviación estándar. Abreviaturas: \bar{x} , media; SD, desviación estándar; P_{max} , potencia máxima de salida; W, watt; kg, kilogramo; OPT, momento en que un individuo alcanza un FVimb cerca de 0, considerando que un “Perfil óptimo de F-v” se aceptó a valores de FVimb de $\pm 10\%$, lo que corresponde a la categoría “Bien equilibrado”); F_0 , fuerza máxima teórica; N, newton; v_0 , velocidad máxima teórica; FVimb, desequilibrio de fuerza-velocidad; m, metro; s, segundo; HFD, Subgrupo de Alto Déficit de Fuerza; HVD, Subgrupo de Alto Déficit de Velocidad; LFD, Subgrupo de Bajo Déficit de Fuerza; LVD Subgrupo de Bajo Déficit de Velocidad.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t003>

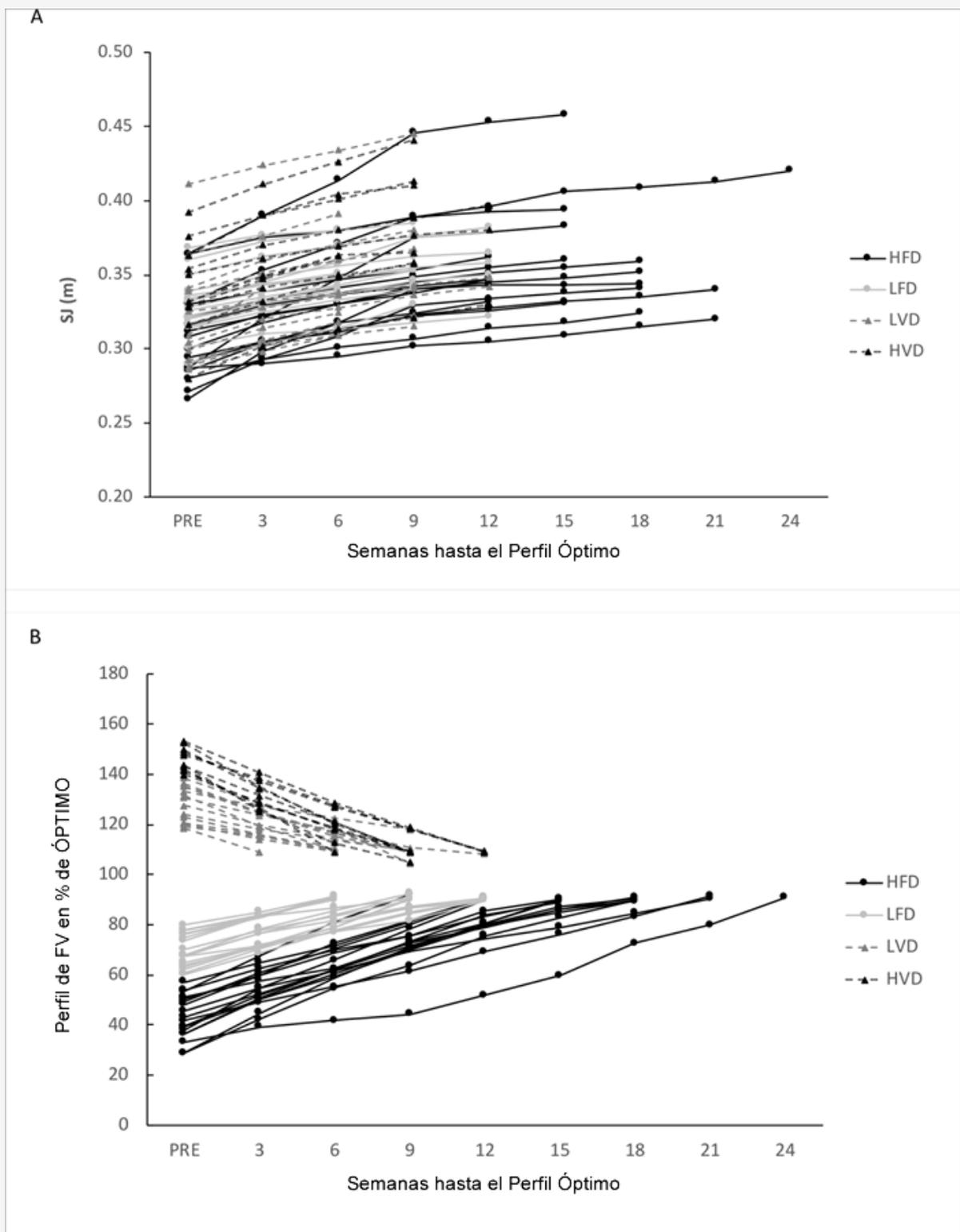


Figura 1. A-B: Cambios individuales en la altura de salto (A) y el FVimb (B) de acuerdo a las semanas de entrenamiento para cada subgrupo hasta que alcancen su perfil óptimo de F-v.

Los grupos FD y VD representan los valores medios obtenidos para los subgrupos HFD y LFD (para el grupo FD) y los valores medios obtenidos para los subgrupos HVD y LVD (para el grupo VD). Los grupos FD y VD y todos sus subgrupos mostraron cambios extremadamente grandes en el FVimb, junto con un cambio extremadamente grande en F0 (para el grupo FD) y v0 (para el grupo VD), respectivamente (Tabla 2; Fig. 1). Además, se observaron mejoras sustanciales en el rendimiento del salto en los grupos FD y VD y subgrupos asociados (+9,1 a +17,1% en promedio, muy probablemente con efectos moderados a grandes) (Fig. 2).

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.g001>

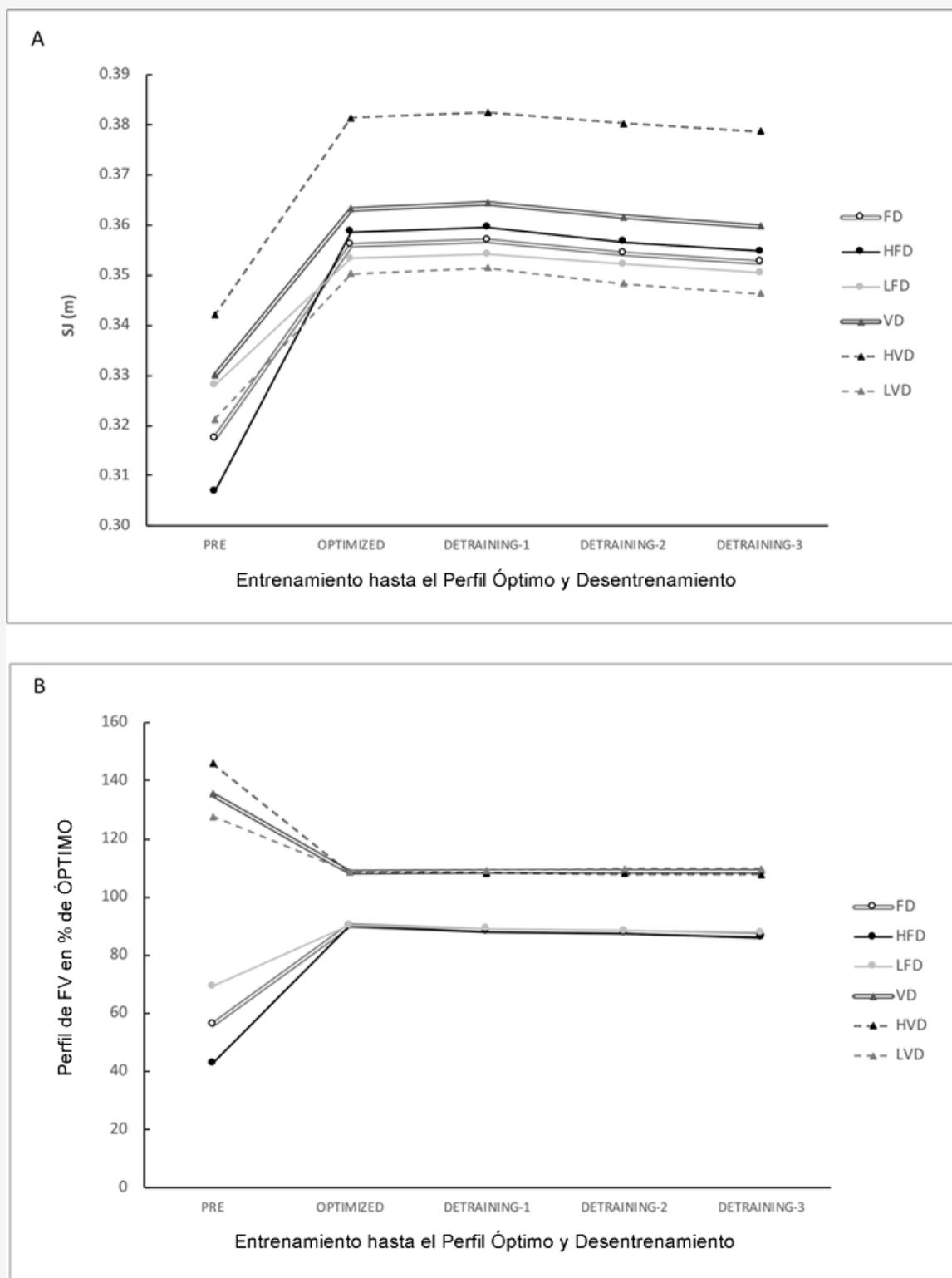


Figura 2.A-B: cambios en la altura de salto (A) y el FVimb (B) durante los períodos de entrenamiento y desentrenamiento para cada subgrupo.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.g002>

La Fig. 3 muestra que hubo una correlación significativa entre el número de semanas necesarias para alcanzar el perfil óptimo de FV y el FVimb inicial ($r = 0,82$ (0,74-0,89), $p < 0,01$) para todos los participantes individuales. En los subgrupos iniciales, las correlaciones fueron: LFD ($r = 0,88$, $p < 0,01$); HFD ($r = 0,54$, $p < 0,05$), LVD ($r = 0,73$, $p < 0,01$); y HVD ($r = 0,45$, $p = 0,183$), respectivamente.

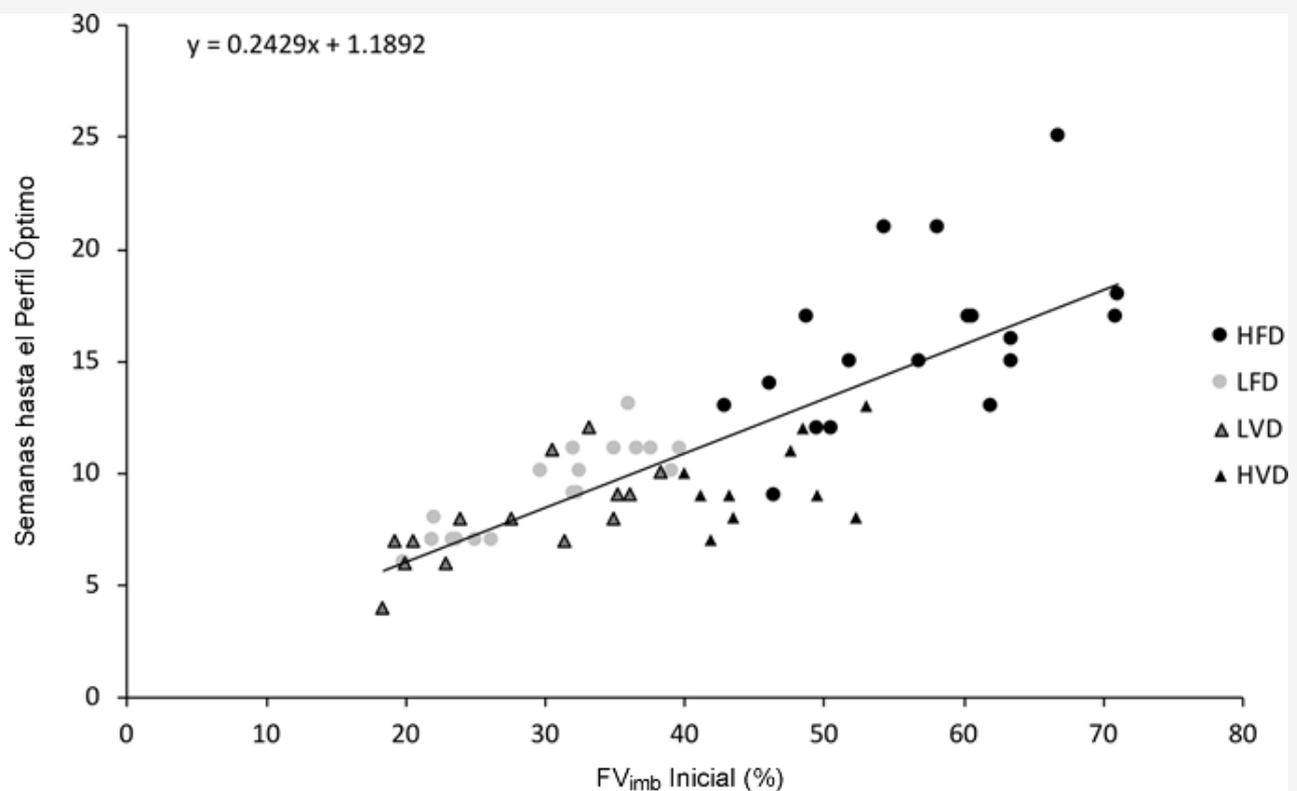


Figura 3. Correlación entre el FV_{imb} inicial y el tiempo necesario para alcanzar un perfil óptimo de $F-v$
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.g003>

El análisis de regresión múltiple por pasos mostró que las diferencias interindividuales en los cambios de altura del SJ se asociaron significativamente con diferencias tanto en el FV_{imb} (varianza explicada de 48,2%, $P < 0,001$) como en la P_{max} (varianza explicada de 37,7%, $P < 0,001$). La calidad del modelo final (RMSE y R^2), así como los coeficientes brutos y estandarizados, se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Análisis de regresión múltiple por pasos para la asociación entre cambios individuales de FV_{imb} y P_{max} (variables independientes) con cambios en la altura del salto (variable dependiente).

Multiple Regression Model		Adjusted R^2	RMSE		Unstandardized coefficient	Standard Error	Standardized coefficient	t	L
1		0.482	<0.001	Intercept	7.051	0.831		8.487	<0.001
				$FV_{imb_PRE-POST}$	0.085	0.011	0.701	7.476	<0.001
2		0.959	<0.001	Intercept	-2.896	0.45		-6.435	<0.001
				$FV_{imb_PRE-POST}$	0.2	0.005	1.645	36.511	<0.001
				$P_{max_PRE-POST}$	1.157	0.045	1.167	25.897	<0.001

Abbreviations: RMSE: Root Mean Square Error; $FV_{imb_PRE-POST}$: Changes in FV_{imb} after training intervention; $P_{max_PRE-POST}$: changes in maximal power output in FV profile.

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t004>

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681.t004>

Discusión

Los principales resultados de este estudio confirmaron los resultados de Jiménez-Reyes et al. [10] que un programa de entrenamiento optimizado e individualizado específicamente dirigido al FV_{imb} es una estrategia efectiva para mejorar el

rendimiento del salto cuando se controla el tiempo para alcanzar un perfil óptimo de F-v. Este estudio también mostró que establecer la duración del entrenamiento y el contenido del programa de acuerdo con los cambios individuales específicos en el perfil de F-v permitió que cada individuo alcanzara al final su perfil óptimo. Finalmente, este estudio fue el primero en probar los cambios en el *FVimb* después de detener el entrenamiento específico una vez que se alcanzó un perfil óptimo de F-v. Los resultados muestran que las adaptaciones inducidas por el entrenamiento permanecieron sin cambios en general durante el período de tres semanas posterior a la interrupción del entrenamiento específico e individualizado.

En general, el entrenamiento optimizado dirigido a reducir el *FVimb* y mejorar la altura del salto proporcionó efectos beneficiosos en una serie de variables de rendimiento relacionadas con la relación de F-v, incluyendo $F0$, $v0$, $Pmax$, *FVimb* y altura del salto (Tablas 1 y 2). La magnitud de los cambios observados varió de pequeña a extremadamente grande y *posiblemente* a las probabilidades *más probables*. Hasta la fecha, sólo un estudio ha puesto a prueba el efecto del entrenamiento de un programa de este tipo [10]. El aspecto novedoso del presente estudio fue considerar un enfoque dinámico de la duración del programa, en contraste con el enfoque de tiempo fijo común a todos los sujetos en nuestro estudio anterior [10]. Con este enfoque, los deportistas siguieron el programa de entrenamiento (adaptado a sus necesidades individuales según lo indicado por su *FVimb*) hasta que cada individuo alcanzó su *FVimb* óptimo (es decir, menos del 10% del valor absoluto). Esto demostró ser una individualización más adecuada, completa y dinámica que en nuestro estudio anterior, ya que independientemente de si los deportistas fueron rápidos o lentos en responder al programa de entrenamiento específico, tanto el contenido como la duración del entrenamiento fueron regulados para obtener las adaptaciones objetivo. En general, nuestros resultados sugieren que este enfoque individualizado y dinámico produjo mejoras marcadas en términos de efectividad del entrenamiento (individual y grupal) en comparación con las duraciones preestablecidas y de tiempo fijo de los programas, que son enfoques comunes en la práctica e investigación de la fuerza y el acondicionamiento. El presente estudio también mostró que el cambio inducido por el entrenamiento en la altura del SJ estaba relacionado tanto con los cambios del *FVimb* (48,2% de la varianza explicada en los cambios de altura de salto) como con los cambios de la $Pmax$ (37,7% de la varianza explicada). Curiosamente, los cambios del *FVimb* explicaron una mayor parte de las diferencias inter-sujetos en los cambios de rendimiento del salto que los cambios de la $Pmax$, y los cambios del *FVimb* tuvieron un mayor efecto en los cambios de rendimiento que los cambios de la $Pmax$ (coeficientes estandarizados de 1,65 y 1,17, respectivamente).

Tradicionalmente, se ha utilizado un enfoque de "talla única" para desarrollar programas específicos de entrenamiento de fuerza, y se han informado efectos positivos generales para diferentes programas que se centran en mejorar el rendimiento de los saltos, a pesar de las inconsistencias en la prescripción del entrenamiento: por ejemplo, cargas pesadas para todos los sujetos [20,21,24,25,25,30-35]; cargas ligeras [32,36-38]; o entrenamiento combinado de fuerza [21,32,35,37,39,39-41]. Existen limitaciones importantes en este enfoque: el contenido del entrenamiento era el mismo para todos los sujetos sin tener en cuenta sus necesidades iniciales en términos de capacidades físicas, o sus respuestas individuales al entrenamiento durante el transcurso del programa. Esto puede inducir una gran variabilidad en la efectividad del programa y respuestas generales poco claras al entrenamiento [20,21,25,32,33,36,37,42,43].

Considerando lo anterior y el potencial de utilizar un programa de entrenamiento individualizado específicamente dirigido al *FVimb*, Jiménez-Reyes et al. [10] compararon un enfoque tradicional con el entrenamiento de la fuerza, común a todos los sujetos independientemente de su desequilibrio de F-v, y un entrenamiento óptimo del perfil de F-v basado en un enfoque de F-v específicamente dirigido a la *FVimb*. Los resultados demostraron la eficacia del entrenamiento optimizado frente a un enfoque de "talla única": la mejora en la altura del salto sólo fue significativa en el grupo de entrenamiento optimizado, con todos los sujetos respondiendo positivamente por encima del umbral de cambio más pequeño que valía la pena, mientras que hubo una variabilidad muy alta e incluso algunos respondedores negativos en el enfoque tradicional ("talla única").

A pesar de estos resultados y mejoras informadas por Jiménez-Reyes et al. [10], cabe destacar que una limitación importante en su estudio fue la duración fija del entrenamiento de 9 semanas para todos los sujetos. Esta duración fija fue casi apropiada para la mayoría de los sujetos con déficit de velocidad, que completaron la intervención de entrenamiento cerca de su perfil óptimo de F-v. Sin embargo, no fue suficiente para la mayoría de los sujetos con déficit de fuerza. Considerando esta limitación, el estudio actual incluyó no sólo un programa de entrenamiento individualizado sino *también* una duración de entrenamiento individualizada; es decir, el tiempo necesario para que cada individuo alcance un *FVimb* óptimo. La muy alta variabilidad en la duración del entrenamiento observada aquí (de 4 a 25 semanas para los que se encuentran en los extremos) apoya la necesidad de este enfoque, en comparación con las duraciones fijas de los programas (Fig. 3).

En el presente protocolo, todos los sujetos probados fueron asignados a subgrupos específicos (HFD, LFD, HVD y LVD) y luego se les impartió un programa de entrenamiento específico propuesto por Jiménez-Reyes et al. [10]. Cada uno de estos subgrupos se discute por separado.

Grupo de Déficit de Fuerza (subgrupos HFD y LFD)

Para el grupo de FD, el programa específico de carga pesada resultó en aumentos extremadamente grandes en $F0$ ($+30 \pm 16,6\%$ en promedio; $ES = 2,23 \pm 0,28$), reducciones en el $FVimb$ ($-74,3 \pm 54,7\%$; $ES = 2,17 \pm 0,27$) y grandes aumentos en la altura de salto ($+12,4 \pm 7,6\%$; $ES = 1,45 \pm 0,23$). En este caso, el análisis individual mostró que todos los sujetos lograron mejorar la altura de salto por encima del cambio más pequeño que valía la pena, y redujeron el $FVimb$, según lo informado por Jiménez-Reyes et al. (2017) [10], lo que apoya y confirma la efectividad de este tipo de enfoque de entrenamiento. El tiempo para que los individuos alcanzaran su perfil óptimo de F-v fue de $12,6 \pm 4,6$ semanas en promedio. Cuando los resultados se dividieron en dos subgrupos específicos de acuerdo a los porcentajes y umbrales de $FVimb$ [10] se obtuvo una mejor descripción de las adaptaciones, con una respuesta más específica de acuerdo al $FVimb$ inicial. Para HFD y LFD, el programa específico de carga pesada resultó en aumentos extremadamente grandes en $F0$ (HFD: $+44,1 \pm 11,7\%$ en promedio; $ES = 3,24 \pm 0,29$; LFD: $+16,5 \pm 5,1\%$ en promedio; $ES = 3,00 \pm 0,36$), reducciones en el $FVimb$ (HFD: $-118,2 \pm 46,5\%$ en promedio; $ES = 5,27 \pm 0,39$; LFD: $-31,1 \pm 11,7\%$ de media; $ES = 3,09 \pm 0,38$) y grandes aumentos en la altura de salto (HFD: $+17,1 \pm 8,1\%$ de media; $ES = 1,76 \pm 0,33$; LFD: $+7,8 \pm 2,8\%$ de media; $ES = 1,27 \pm 0,17$). El tiempo necesario para alcanzar un perfil óptimo de F-v osciló entre $15,9 \pm 3,8$ semanas en promedio para HFD y $9,2 \pm 2,0$ semanas en promedio para LFD. En general, estos resultados están en línea con los obtenidos por Jiménez-Reyes et al. (2017) [10], pero son mejores en términos de rendimiento de salto, probablemente debido a una duración de entrenamiento individualizado para asegurar que se alcanzara el perfil óptimo en los participantes a un nivel competitivo más alto. Así, nuestros resultados confirman la eficacia y especificidad de los ejercicios y cargas seleccionados para este grupo para cambiar específicamente el perfil de F-v de acuerdo con un $FVimb$ inicial que muestra un déficit de fuerza (Tabla 2; Figs 1 y 2) [10]. Estos hallazgos también están de acuerdo con otros estudios que muestran la especificidad del entrenamiento con cargas elevadas [20,21,32,37,44]. El aumento en $F0$ se observó aquí en paralelo con una disminución en $v0$, incluso si no se puede apoyar ninguna interrelación entre estas dos cualidades, excepto que cuando una de estas cualidades fue entrenada, la otra no lo fue. En el presente estudio, la mejora de la fuerza máxima ($F0$) no se asoció con el mismo tipo de aumento en $Pmax$, lo que habría sido el caso si los sujetos hubieran mantenido su valor de $v0$ similar. Por lo tanto, la mejora del rendimiento puede atribuirse principalmente a la reducción del $FVimb$, y menos a un aumento de la $Pmax$, lo que justifica el interés del $FVimb$ en el entrenamiento de fuerza centrado en la mejora del rendimiento balístico.

Finalmente, para este grupo de FD, nuestros resultados confirmaron la especulación en nuestro estudio anterior sobre el tiempo requerido (más largo que el tiempo fijo de 9 semanas) para obtener ajustes a nivel estructural [18], como lo confirman los tiempos que oscilan entre $15,9 \pm 3,8$ semanas en promedio para el subgrupo HFD y $9,2 \pm 2,0$ semanas en promedio para el subgrupo LFD.

Subgrupo de Déficit de Velocidad (subgrupos HVD y LVD)

En el grupo de VD, el entrenamiento específico causó aumentos moderados (medidos por la altura del salto) a extremadamente grandes en $v0$ ($+15,8 \pm 5,1\%$; $ES = 2,72 \pm 0,29$), reducciones en $FVimb$ ($-19,2 \pm 6,9\%$; $ES = 2,36 \pm 0,35$) y aumentos en la altura del salto ($+10,1 \pm 2,7\%$; $ES = 0,93 \pm 0,09$). Estos resultados están en línea con el estudio piloto antes mencionado [10], mostrando la efectividad de este enfoque de entrenamiento en sujetos con un déficit de velocidad (Tablas 1 y 2; Figs. 1 y 2). Al igual que en el grupo de FD, se encontraron resultados similares en términos de reducción de $FVimb$ y mejoras en la altura del salto, como en el estudio original. La ligera diferencia observada en las mejoras de la altura del salto ($+12,7$ vs $10,1\%$) puede explicarse, al igual que en el caso del grupo de FD, por el mayor nivel global de competencia de los participantes (más entrenados) en el presente estudio. En el grupo de VD, el tiempo para alcanzar un perfil óptimo de FV fue de $8,7 \pm 2,1$ semanas en promedio. Cuando los resultados se dividieron en dos subgrupos específicos de acuerdo con los porcentajes y umbrales de $FVimb$ [10], los resultados mostraron una mejor descripción de las adaptaciones con una respuesta más específica según el $FVimb$ inicial, y para HVD y LVD, los ejercicios específicos de "overspeed" resultaron en aumentos extremadamente grandes en $v0$ (HVD: $+20,2 \pm 2,4\%$ de media; $ES = 3,30 \pm 0,18$; LVD: $+12,6 \pm 3,9\%$ de media; $ES = 2,13 \pm 0,29$); reducciones en el $FVimb$ (HVD: $-25,5 \pm 2,4\%$ de media; $ES = 7,19 \pm 0,52$; LVD: $-14,6 \pm 5,3\%$ de media; $ES = 2,54 \pm 0,15$); y aumentos moderados en la altura del salto (HVD: $+11,6 \pm 2,8\%$ de media; $ES = 1,12 \pm 0,13$; LVD: $+9,1 \pm 2,2\%$ de media; $ES = 0,78 \pm 0,09$). El tiempo requerido para alcanzar un perfil óptimo de F-v osciló entre $9,6 \pm 1,9$ semanas en promedio para HVD y $8,0 \pm 2,1$ semanas en promedio para LVD. Para todo el grupo de VD, el tiempo requerido para alcanzar un perfil óptimo de F-v fue muy similar al calendario de 9 semanas de tiempo fijo usado en todos los programas del estudio original.

Al igual que en el grupo FD, estos resultados confirman, mediante un enfoque más individualizado, la eficacia y especificidad de los ejercicios y cargas seleccionados para este grupo para cambiar específicamente el perfil de F-v de acuerdo con las mediciones iniciales del $FVimb$ que muestran un déficit de velocidad (Tabla 2; Figs 1 y 2), mejorando así el extremo de velocidad máxima de la relación F-v. Estos hallazgos también están de acuerdo con otros estudios que apuntan a mejorar específicamente las cualidades relacionadas con la velocidad [19,22,23,26], apoyando el "principio de la especificidad de la velocidad" como un estímulo específico para promover las adaptaciones neurales al entrenamiento específicas de la velocidad [23,45-47]. Como se demostró anteriormente [10], el principal ejercicio utilizado en el grupo de VD fue el "squat jump horizontal" [27], induciendo un estímulo de "overspeed" que ayuda a los deportistas a alcanzar

velocidades de extensión de las extremidades inferiores un 20-30% superiores a la velocidad de despegue de un SJ [22,27]. Al igual que en el subgrupo FD, el aumento de $v0$ en el grupo VD se observó en paralelo con una disminución de $F0$, por lo que siguiendo la misma interpretación anterior, la mejora del rendimiento puede atribuirse principalmente a la reducción del $FVimb$, y menos a un aumento de la $Pmax$.

Puntos Adicionales

Una observación interesante en el presente estudio fue que el tiempo necesario para alcanzar el perfil óptimo de F-v se correlacionó significativamente con el $FVimb$ inicial ($r = 0,82$, $p < 0,01$), al considerar a todos los participantes o a cada subgrupo (Fig. 3). Cuanto mayor sea el déficit inicial, mayor será la duración del entrenamiento necesaria para alcanzar el perfil óptimo. Esto puede tener un valor práctico, ya que puede permitir recomendaciones para la duración aproximada de los programas de entrenamiento específicos dependiendo del $FVimb$ inicial. Esto puede estar relacionado con los antecedentes del entrenamiento y aunque todos los sujetos fueron respondedores, debe tenerse en cuenta que hubo variabilidad dentro de los subgrupos HVD y HFD.

Nuestros resultados apoyan el valor de un nuevo paso en la individualización del entrenamiento y la necesidad de individualizar no sólo el contenido del entrenamiento, sino también la duración del mismo. La inclusión de la duración específica del entrenamiento como parámetro proporcionará un conocimiento más completo sobre el entrenamiento eficaz en función de las necesidades individuales [9,10]. Dada la facilidad de medición a lo largo de una temporada (extensión de extremidades, $Pmax$ y diferentes saltos con pocas cargas adicionales) [5,13] nuestra recomendación es monitorizar la evolución del $FVimb$ para decidir cuándo un deportista necesita cambiar de un subgrupo específico a otro, ajustando el contenido del entrenamiento, y con la monitorización de F-v, posiblemente también ajustando la duración del entrenamiento. Este enfoque permite una adaptación dinámica en la respuesta de cada individuo al entrenamiento, tanto en términos de contenido como de tiempo. Teniendo en cuenta la necesidad de individualizar debido a la variabilidad observada cuando se utilizó un período de entrenamiento de tiempo fijo [10] y considerando que algunos sujetos se adaptan más rápido que otros y pueden necesitar cambiar de subgrupos (por ejemplo, de HFD a LFD) dentro del período de entrenamiento, las evaluaciones intermedias pueden permitir un fácil ajuste del programa de entrenamiento y la adaptación a la cinética de respuesta de cada individuo. Estas evaluaciones intermedias podrían ser implementadas cada 1 a 3 semanas, tal y como se ha hecho en el presente estudio, pero podrían ser monitoreadas con mucha más frecuencia cuando el deportista se acerca al umbral, ya que el enfoque es posible con sólo 2 cargas [13], lo que hace que la evaluación y la decisión sean más rápidas cuando sea necesario. Los presentes resultados pueden proporcionar valiosos conocimientos adicionales y aplicaciones potenciales en la práctica del entrenamiento deportivo, permitiendo una monitorización y periodización del entrenamiento más individualizada, específica y eficaz.

Otra adición en este estudio fue la comprobación de los cambios en los parámetros del perfil de F-v y el rendimiento del salto después del cese del entrenamiento luego de que los deportistas alcanzaron su perfil óptimo. Este punto es de interés, principalmente para los deportes de equipo, ya que varias cualidades físicas tales como el rendimiento de sprint, la fuerza máxima y la capacidad de sprint repetido muestran diferentes cinéticas durante el período de tapering que sigue a un bloque de entrenamiento intenso [48,49]. En el caso de la fuerza máxima de los miembros inferiores, aunque no es exactamente la misma variable que en nuestro estudio, [48] informó que la fuerza máxima podría mantenerse durante un período de 3 semanas de tapering en jugadores de rugby altamente entrenados. Aunque no podemos hacer una comparación directa ya que los estudios de taper utilizan normalmente un período de entrenamiento intensificado antes de comenzar la fase de taper, es razonable que nuestro protocolo no indujera un "rebote de rendimiento" porque nuestros deportistas seguían un entrenamiento de fuerza progresivo específico e individualizado hasta que alcanzaron su perfil óptimo de F-v y luego se abstuvieron voluntariamente de realizar un entrenamiento de fuerza durante 3 semanas mientras continuaban con sus actividades deportivas específicas y competiciones. Durante el período de desentrenamiento en el presente estudio, todas las variables mantuvieron sus valores post-entrenamiento solo con cambios mínimos (Tabla 1). Este resultado puede ser muy útil desde un punto de vista práctico, ya que en los deportes de equipo, el cese del entrenamiento de fuerza individualizado basado en los perfiles de F-v de los deportistas podría ser una buena estrategia durante los períodos de tapering o los campos de entrenamiento que preparan para las grandes competiciones, ya que se mantienen los parámetros relacionados con el perfil de F-v y el rendimiento de salto. Por el contrario, aunque no hemos investigado períodos de desentrenamiento más largos, recomendamos monitorizar las variables de F-v cada 3 semanas para decidir si es necesaria una fase de entrenamiento específico (en caso de cambio en el $FVimb$).

Limitaciones

La principal limitación fue que sólo consideramos la cinética del desentrenamiento en un período de 3 semanas. Sin embargo, 3 semanas es común para los períodos de tapering que se realizan normalmente en los deportes de equipo y esta es la razón por la que decidimos usar este lapso de tiempo. Además, no fue posible continuar con un período de desentrenamiento prolongado durante la temporada. Nuestro objetivo era alcanzar el perfil óptimo de F-v; una vez que los participantes lo alcanzaron y completaron el período de desentrenamiento, iniciaron un programa de entrenamiento con el

objetivo de mejorar la altura de salto y la P_{max} . En este punto, todos los sujetos se encontraban en un estado bien equilibrado y las necesidades de entrenamiento cambiaron en relación con los aspectos de F-v.

Conclusiones

Este estudio confirmó los resultados de la investigación piloto de Jiménez-Reyes et al. [10], mostrando que un programa de entrenamiento optimizado e individualizado que trata específicamente el desequilibrio de fuerza-velocidad es eficaz para mejorar el rendimiento del salto incluso en sujetos entrenados. Por lo tanto, el FV_{imb} puede considerarse como una variable potencialmente útil para prescribir un entrenamiento de fuerza óptimo para mejorar el rendimiento balístico (p.ej. salto). La nueva información añadida por este estudio es que: (i) la alta variabilidad inter-sujeto en el momento de las adaptaciones inducidas por el entrenamiento justifica un monitoreo regular del FV_{imb} durante el periodo de entrenamiento, de modo que el contenido y la duración del entrenamiento también son individualizados hasta que el deportista alcanza el perfil individual de F-V deseado; (ii) existe una correlación positiva entre la magnitud del FV_{imb} individual y el tiempo necesario para alcanzar el perfil óptimo; y (iii) no se observaron cambios significativos en las variables de FV_{imb} y de perfil de F-v y el rendimiento del salto en el periodo de desentrenamiento de 3 semanas estudiado. Colectivamente, estos resultados proporcionan información útil sobre una prescripción de entrenamiento más específica, individualizada y precisa para el rendimiento de la altura del salto.

Agradecimientos

Este estudio fue financiado por el Ministerio de Educación, Cultura y Deporte de España (Plan Nacional 2015; referencia de beca CAS15/00171) con el Programa Nacional de "Estancias de movilidad en el extranjero "José Castillejo" para médicos jóvenes". Los investigadores agradecen a Matt Brughelli por su contribución en la publicación de la primera parte de este estudio y a Adrián Castaño-Zambudio, Víctor Cuadrado-Peñañiel, Antonio Del Aguila, Salustiano Campuzano y Pete Griffith por su apoyo técnico, y a los sujetos por haber realizado con entusiasmo este exigente experimento. También agradecemos a los numerosos colegas y estudiantes que han discutido estos temas con nosotros en los últimos años. Estas discusiones fueron una fuente muy importante de reflexión en nuestro proceso de redacción. Algunos de estos resultados se presentaron en el Congreso Europeo de Ciencias del Deporte de 2018.

REFERENCIAS

1. Barnes C, Archer DT, Hogg B, Bush M, Bradley PS. (2014). The Evolution of Physical and Technical Performance Parameters in the English Premier League. *Int J Sports Med.* 2014; 1095-1100. *pmid:25009969*
2. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. (2010). Influence of strength on magnitude and mechanisms of adaptation to power training. *Med Sci Sports Exerc.* 2010;42: 1566-1581. *pmid:20639724*
3. Cronin J, Sleivert G. (2005). Challenges in understanding the influence of maximal power training on improving athletic performance. *Sport Med.* 2005;35: 213-234. *pmid:15730337*
4. Faude O, Koch T, Meyer T. (2012). Straight sprinting is the most frequent action in goal situations in professional football. *J Sports Sci.* 2012;30: 625-31. *pmid:22394328*
5. Samozino P, Rejc E, Di Prampero PE, Belli A, Morin J-B. (2012). Optimal force-velocity profile in ballistic movements—altius: citius or fortius?. *Med Sci Sports Exerc.* 2012;44: 313-22. *pmid:21775909*
6. Vandewalle H, Péterès G, Monod H. (1987). Standard Anaerobic Exercise Tests. *Sports Med.* 1987;4: 268-289. *pmid:3306867*
7. Yamauchi J, Ishii N. (2007). Relations Between Force-Velocity Characteristics of the Knee-Hip Extension Movement and Vertical Jump Performance. *J Strength Cond Res.* 2007;21: 703-709. *pmid:17685704*
8. Samozino P, Edouard P, Sangnier S, Brughelli M, Gimenez P, Morin JB. (2014). Force-velocity profile: Imbalance determination and effect on lower limb ballistic performance. *Int J Sports Med.* 2014;35: 505-510. *pmid:24227123*
9. Morin JB, Samozino P. (2016). Interpreting power-force-velocity profiles for individualized and specific training. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016;11: 267-272. *pmid:26694658*
10. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Brughelli M, Morin J-B. (2017). Effectiveness of an Individualized Training Based on Force-Velocity Profiling during Jumping. *Front Physiol.* 2017;7: 677. *pmid:28119624*
11. Samozino P, Morin JB, Hintzy F, Belli A. (2008). A simple method for measuring force, velocity and power output during squat jump. *J Biomech.* 2008;41: 2940-2945. *pmid:18789803*
12. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Cuadrado-Peñañiel V, Conceição F, González-Badillo JJ, Morin J-B. (2014). Effect of countermovement on power-force-velocity profile. *Eur J Appl Physiol.* 2014;114: 2281-8. *pmid:25048073*
13. García-Ramos A, Pérez-Castilla A, Jaric S. (2018). Optimisation of applied loads when using the two-point method for assessing the force-velocity relationship during vertical jumps. *Sport Biomech.* 2018; 1-16. *pmid:30540216*
14. Jiménez-Reyes P, Samozino P, Pareja-Blanco F, Conceição F, Cuadrado-Peñañiel V, González-Badillo JJ, et al. (2016). Validity of a Simple Method for Measuring Force-Velocity-Power Profile in Countermovement Jump. *Int J Sports Physiol Perform.* 2016; *pmid:27002490*

15. Jiménez-Reyes P, Samozino P, García-Ramos A, Cuadrado-Peñafiel V, Brughelli M, Morin J-B. (2018). Relationship between vertical and horizontal force-velocity-power profiles in various sports and levels of practice. *PeerJ*. 2018;6: e5937. *pmid:30479900*
16. Giroux C, Rabita G, Chollet D, Guilhem G. (2016). Optimal Balance Between Force and Velocity Differs Among World-Class Athletes. *J Appl Biomech*. 2016;32: 59-68. *pmid:26398964*
17. Cormie P, McCaulley GO, McBride JM. (2007). Power versus strength-power jump squat training: influence on the load-power relationship. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39: 996-1003. *pmid:17545891*
18. Kenney W, Wilmore J, Costill DL. (2015). *Physiology of Sport and Exercise*. 6th Ed. C. Champaign: Human Kinetics; 2015.
19. Argus CK, Gill ND, Keogh JWL, Blazevich AJ, Hopkins WG. (2011). Kinetic and training comparisons between assisted, resisted, and free countermovement jumps. *J Strength Cond Res*. 2011;25: 2219-2227. *pmid:21654341*
20. Cormie P, McGuigan MR, Newton RU. (2010). Adaptations in athletic performance after ballistic power versus strength training. *Med Sci Sports Exerc*. 2010;42: 1582-1598. *pmid:20139780*
21. Harris G, Stone M, O'Bryant H, Proulx C, Johnson R. (2000). Short term performance effects of high speed, high force or combined weight training. *J Strength Cond Res*. 2000;14: 4-120.
22. Markovic G, Vuk S, Jaric S. (2011). Effects of jump training with negative versus positive loading on jumping mechanics. *Int J Sports Med*. 2011;32: 365-372. *pmid:21380966*
23. Newton RU, Kraemer WJ, Hakkinen K, Humphries BJ, Murphy a. J. (1996). Kinematics, kinetics, and muscle activation during explosive upper body movements. *J Appl Biomech*. 1996;12: 37-43.
24. Rønnestad BR, Kojedal O, Losnegard T, Kvamme B, Raastad T. (2012). Effect of heavy strength training on muscle thickness, strength, jump performance, and endurance performance in well-trained Nordic Combined athletes. *Eur J Appl Physiol*. 2012;112: 2341-52. *pmid:22038144*
25. Rønnestad BR, Hansen J, Nygaard H. (2016). 10 weeks of heavy strength training improves performance-related measurements in elite cyclists. *J Sports Sci*. 2016; 1-7. *pmid:27486014*
26. Sheppard JM, Dingley AA, Janssen I, Spratford W, Chapman DW, Newton RU. (2011). The effect of assisted jumping on vertical jump height in high-performance volleyball players. *J Sci Med Sport. Sports Medicine Australia*; 2011;14: 85-89. *pmid:20829109*
27. Samozino P, Rivière JR, Rossi J, Morin J-B, Jimenez-Reyes P. (2018). How Fast Is a Horizontal Squat Jump? *Int J Sports Physiol Perform*. 2018;13: 910-916. *pmid:29283690*
28. 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: 3-13. *pmid:19092709*
29. Batterham AM, Hopkins WG. (2006). Making meaningful inferences about magnitudes. *Int J Sports Physiol Perform*. 2006;1: 50-7. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19114737> *pmid:19114737*
30. Gorostiaga EM, Izquierdo M, Iturralde P, Ruesta M, Ibáñez J. (1999). Effects of heavy resistance training on maximal and explosive force production, endurance and serum hormones in adolescent handball players. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1999;80: 485-93. *pmid:10502084*
31. Losnegard T, Mikkelsen K, Rønnestad BR, Hallén J, Rud B, Raastad T. (2011). The effect of heavy strength training on muscle mass and physical performance in elite cross country skiers. *Scand J Med Sci Sports*. 2011;21: 389-401. *pmid:20136751*
32. McBride JM, Triplett-McBride T, Davie A, Newton RU. (2002). The effect of heavy- vs. light-load jump squats on the development of strength, power, and speed. *J Strength Cond Res*. 2002;16: 75-82. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11834109> *pmid:11834109*
33. Ramos Veliz R, Requena B, Suarez-Arrones L, Newton RU, Sáez de Villarreal E. (2014). Effects of 18-week in-season heavy-resistance and power training on throwing velocity, strength, jumping, and maximal sprint swim performance of elite male water polo players. *J Strength Cond Res*. 2014;28: 1007-14. *pmid:24077370*
34. Rønnestad BR, Kvamme NH, Sunde A, Raastad T. (2008). Short-term effects of strength and plyometric training on sprint and jump performance in professional soccer players. *J Strength Cond Res*. 2008;22: 773-80. *pmid:18438241*
35. de Villarreal ESS, Izquierdo M, Gonzalez-Badillo JJ. (2011). Enhancing jump performance after combined vs. maximal power, heavy-resistance, and plyometric training alone. *J Strength Cond Res*. 2011;25: 3274-81. *pmid:22082794*
36. Cormie P, McCaulley GO, Triplett NT, McBride JM. (2007). Optimal loading for maximal power output during lower-body resistance exercises. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39: 340-349. *pmid:17277599*
37. Wilson GJ, Newton RU, Murphy AJ, Humphries BJ. (1993). The optimal training load for the development of dynamic athletic performance. *Med Sci Sports Exerc*. 1993;25: 1279-86. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8289617> *pmid:8289617*
38. Zaras N, Spengos K, Methenitis S, Papadopoulos C, Karampatsos G, Georgiadis G, et al. (2013). Effects of strength vs. ballistic-power training on throwing performance. *J Sport Sci Med*. 2013;12: 130-137.
39. Kotzamanidis C, Chatzopoulos D, Michailidis C, Papaiaikovou G, Patikas D. (2005). The effect of a combined high-intensity strength and speed training program on the running and jumping ability of soccer players. *J Strength Cond Res*. 2005;19: 369-75. *pmid:15903377*
40. Toji H, Suei K, Kaneko M. (1997). (1997). Effects of combined training loads on relations among force, velocity, and power development. *Can J Appl Physiol*. 1997;22: 328-336. *pmid:9263617*
41. Toji H, Kaneko M. (2004). Effect of multiple-load training on the force-velocity relationship. *J Strength Cond Res*. 2004;18: 792-795. *pmid:15574085*
42. 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: 2241-9. *pmid:19826302*
43. Smilios I, Sotiropoulos K, Christou M, Douda H, Spaias A, Tokmakidis SP. (2013). Maximum power training load determination and its effects on load-power relationship, maximum strength, and vertical jump performance. *J Strength Cond Res*. 2013;27: 1223-33. *pmid:22744302*
44. Kaneko M, Fuchimoto T, Toji H, Suei K. (1983). Training effect of different loads on the force-velocity relationship and mechanical

- power output in human muscle. *Scand J Sport Sci.* 1983;5: 50-55. Available: <http://articles.sirc.ca/search.cfm?id=156973>
45. Kanehisa H, Miyashita M. Specificity of velocity in strength training. (1983). *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1983;52: 104-6. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6686117> pmid:6686117
 46. Paddon-Jones D, Leveritt M, Lonergan A, Abernethy P. (2001). Adaptation to chronic eccentric exercise in humans: the influence of contraction velocity. *Eur J Appl Physiol.* 2001;85: 466-71. pmid:11606016
 47. Sale DG. (1988). Neural adaptation to resistance training. *Med Sci Sports Exerc.* 1988;20: S135-45. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/3057313> pmid:3057313
 48. Marrier B, Robineau J, Piscione J, Lacombe M, Peeters A, Hausswirth C, et al. (2017). Supercompensation Kinetics of Physical Qualities During a Taper in Team-Sport Athletes. *Int J Sports Physiol Perform.* 2017;12: 1163-1169. pmid:28121198
 49. de Lacey J, Brughelli M, McGuigan M, Hansen K, Samozino P, Morin J-B. (2014). The Effects of Tapering on Power-Force-Velocity Profiling and Jump Performance in Professional Rugby League Players. *J Strength Cond Res.* 2014;28: 3567-3570. pmid:24936904

Cita Original

Jiménez-Reyes P, Samozino P, Morin J-B (2019) Optimized training for jumping performance using the force-velocity imbalance: Individual adaptation kinetics. *PLoS ONE* 14(5): e0216681. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216681>