

Efectos de un entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia sobre carreras de media distancia

Effects of concurrent strength and endurance training on middle distance races

Juan Manuel García-Manso¹, Enrique Arriaza-Ardiles², Teresa Valverde³, Fabián Moya-Vergara¹, Claudia Mardones-Tare¹

1. Laboratorio de Análisis de la Actividad Física y el Deporte, Universidad de Playa Ancha. Valparaíso, Chile.

2. Centro de Estudios Avanzados (CEA). Universidad de Playa Ancha, Chile.

3. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Universidad Católica de Valencia San Vicente Mártir, España.

CORRESPONDENCIA:

Enrique Arriaza-Ardiles

earriaza@upla.cl

Recepción: julio 2016 • Aceptación: abril 2017

Resumen

El objetivo de este estudio fue evaluar los efectos del entrenamiento concurrente (fuerza y resistencia) sobre las carreras de media distancia en sujetos jóvenes de moderado nivel de rendimiento. Se aplicó un trabajo organizado en fases de diferente orientación de fuerza, lo que se conoce como periodización por bloques. Quince universitarios sanos y físicamente activos participaron voluntariamente en el estudio. Fueron organizados aleatoriamente en dos grupos: uno que entrenaba solo resistencia (Grupo Resistencia: GR): Edad=21.3±2.3 años; Peso Corporal=66.8±1.9 kg; Estatura=172.0±2.3 cm; Grasa Corporal=10.8±1.1% y otro (Grupo Fuerza-Resistencia: GFR): Edad=20.9±1.2 años; Peso Corporal=69.8±1.3 kg; Estatura=172.8±3.9 cm, Grasa Corporal=11.4±0.6% al que se le añadió un protocolo de entrenamiento de fuerza de 9 semanas (2 días/semana) de duración. No se detectaron grandes diferencias en los cambios observados en ambos grupos al final de las nueve semanas. Los dos grupos mejoraron significativamente su rendimiento en las carreras de media y larga duración, la fuerza, la resistencia de fuerza y su capacidad aeróbica (VO₂max). Los cambios fueron poco apreciables en el resto de las pruebas evaluadas (60 y 300 metros). Los mayores beneficios se encontraron en la carrera de 2000 metros. Dichas mejoras se detectaron desde el primer mesociclo de entrenamiento y fueron especialmente evidentes al final de las nueve semanas. No obstante, no se detectaron diferencias relevantes entre ambos grupos (6.5±3.7 vs. 3.7±2.1 ml/kg/min; F=0.534; IC95%= -0.198, 5.932; p=0.65; ES=0.434). En conclusión, podemos afirmar que en esta muestra incorporar un trabajo de fuerza no conlleva mayores beneficios que entrenar solo la carrera.

Palabras clave: concurrente, periodización, evaluación, medio fondo, adaptación.

Abstract

The aim of this study was to assess the effects of concurrent strength and endurance training on middle distance races in young athletes with moderate levels of performance. An organized work divided into different strength phases, also known as bloc periodization, was applied. Fifteen healthy and physically active university participants volunteered for the study. Individuals were randomly organized into two groups: resistance training group (RG: Age=21.3±2.3 years; Body Mass=66.8±1.9 kg; Height=172.0±2.3 cm; Fat Mass=10.8±1.1%) and strength training group (SG: Age=20.9±1.2 years; Body Mass=69.8±1.3 kg; Height=172.8±3.9 cm, Fat Mass=11.4±0.6%) who performed a strength protocol during 9 weeks (2 days/week). No significant differences were observed at the end of the nine weeks training. Both groups improved significantly their performance in the medium and long distance races, strength, resistance strength and their aerobic capacity (VO₂max). Few changes were appreciable in the rest of the evaluated tests (60 and 300 meters). The greatest benefits were observed in the 2000 meters race. These improvements were detected from the first mesocycle and were especially evident at the end of the nine weeks. However, no significant differences were detected between groups (6.5±3.7 vs. 3.7±2.1 ml/kg/min; F=0.534; CI_{95%}= -0.198, 5.932; p=0.65; ES=0.434). In conclusion, we can affirm that in this sample, incorporating strength training does not lead to greater benefits in comparison to just training the running performance.

Key words: concurrent, periodization, assessment, middle distance, adaptation.

Introducción

Todas las disciplinas deportivas necesitan desarrollar múltiples factores (neuromusculares y bioenergéticos) con los que poder mejorar sus rendimientos. Esto supone tener que ser especialmente cuidadosos a la hora de organizar racionalmente entrenamientos que, por su naturaleza, tengan contenidos de diferente orientación (fuerza, resistencia, etc.). Tal estructura deberá ser la que permita alcanzar diferentes respuestas adaptativas que sean sinérgicas y permitan potenciar y multiplicar el efecto del entrenamiento. Este tipo de estrategias múltiples de entrenamiento justifican que, incluso en las pruebas de media y larga duración, se precise incluir trabajos de fuerza dentro de los programas de trabajo que se elaboren para cada deportista. Muchos teóricos del entrenamiento denominan a este tipo de trabajo como entrenamiento de fuerza-resistencia (Aagaard et al., 2010; Beattie et al., 2014; Bazylar et al., 2015).

Por su naturaleza, el trabajo de fuerza-resistencia siempre tiene un alto componente de especificidad que le obliga a ajustarse, en cada caso, a las características de cada modalidad deportiva (García-Pallarés et al., 2011). Su aplicación supone mantener una estructura secuencializada y temporalizada de trabajo específico para cada cualidad. Esto supondría que, al final del proceso, las adaptaciones en fuerza y resistencia se manifestaran en ganancias que mejoraran el rendimiento en disciplinas de media o larga duración sin que afloraran posibles interferencias inherentes a las que generan ambas capacidades cuando son entrenadas por separado (Yamamoto et al., 2008).

Dentro de las diferentes formas de organizar los entrenamientos que tradicionalmente se utilizan en el entrenamiento de medio fondo y fondo, el trabajo simultáneo de ambas capacidades (fuerza y resistencia) es una de la más habituales y, al mismo tiempo, una de las que más debate ha generado en los últimos años. La integración de trabajo de fuerza con el entrenamiento aeróbico es lo que habitualmente se conoce como entrenamiento concurrente (Wilson et al., 2012). Esta forma de organizar las cargas apunta a que puede resultar más efectivo que si solo se entrena la resistencia en disciplinas de esta naturaleza (Hickson et al., 1988; Hoff et al., 2002; Spurrs et al., 2003; Støren et al., 2013). Las mejoras que provoca el entrenamiento concurrente sobre el rendimiento en carreras de resistencia han sido reportadas en diferentes trabajos (Paavolainen et al., 1999; Spurrs et al., 2003; Støren et al., 2013).

El objetivo de este estudio ha sido comprobar si los efectos del entrenamiento concurrente organizado en bloques de diferente orientación de fuerza, similar al

que propone Verjoshanski para deportes de resistencia (Verjoshanski, 1990), conocida como periodización por bloques, resulta una estrategia más eficiente que el utilizar solo el trabajo de carrera para mejorar el rendimiento en pruebas de media distancia en sujetos jóvenes de moderado nivel de rendimiento.

Metodología

Participantes. Quince sujetos universitarios sanos y físicamente activos (estudiantes de Educación Física que practicaban diferentes modalidades deportivas) participaron voluntariamente en el estudio. Fueron organizados aleatoriamente en dos grupos: uno que entrenaba solo resistencia (GR: Edad=21.3±2.3 años; Peso Corporal=66.8±1.9 kg; Estatura=172.0±2.3 cm; Grasa Corporal=10.8±1.1%) y otro (GFR: Edad=20.9±1.2 años; Peso Corporal=69.8±1.3 kg; Estatura=172.8±3.9 cm; Grasa Corporal=11.4±0.6%) al que se le añadió un protocolo de entrenamiento de fuerza de 9 semanas (2 días/semana) de duración.

Diseño experimental. Inicialmente, los sujetos fueron evaluados con un test de laboratorio (prueba incremental en tapiz rodante) para evaluar su capacidad aeróbica. También se aplicaron cuatro pruebas de campo (60 metros, 300 metros, 2000 metros, 3-RM en prensa inclinada y repeticiones máximas con el 50% del 3RM) para medir su velocidad, su Resistencia anaeróbica, su fuerza y su Resistencia a la fuerza (ver Figura 1). Posteriormente, y durante nueve semanas, los sujetos fueron entrenados con los protocolos que a continuación se detallan. Los test se repitieron al finalizar los dos mesociclos de entrenamiento.

Training. Los dos grupos fueron entrenados durante nueve semanas en las que se organizaron las cargas en dos mesociclos de cinco y cuatro semanas de duración cada uno de ellos y separados por un microciclo de regeneración y evaluación. Debe ser tenido en cuenta que ambos grupos realizaron el mismo tipo y volumen de entrenamiento de resistencia (realizado el 94.6% del trabajo programado inicialmente) y la diferencia de entrenamiento entre grupos consistía en añadir a uno de los grupos, un trabajo de fuerza (concentrado por bloques). El resumen del entrenamiento de resistencia realizado por los dos grupos se muestra en la tabla 1.

Los criterios de intensidad utilizados en el entrenamiento de carrera corresponden siempre a porcentajes de intensidad respecto al valor máximo individual de rendimiento teórico sobre cada distancia de entrenamiento, considerando para sujeto una caída en forma de ley de escala ($V=R \cdot D^a$; siendo V =velocidad; $R=11.4$; D =distancia de entrenamiento; $a=-0.071$) de la velo-

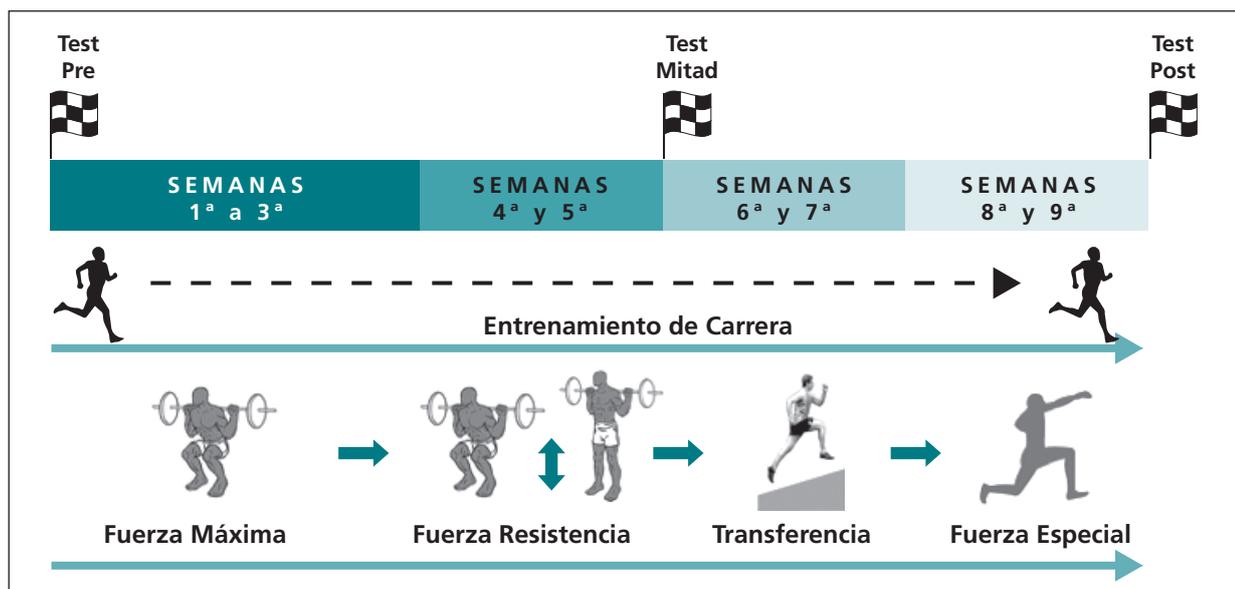


Figura 1. Esquema del Diseño Experimental.

Tabla 1. Volumen de entrenamiento de resistencia (km y %) realizado por ambos grupos (GR y GFR).

Tipo de Entrenamiento	Mesociclo 1	Mesociclo 2
CCL	772 km (43.9 %)	825 (37.0 %)
CCM	661 km (37.6 %)	101 (49.3 %)
CCR	324 km (18.5 %)	136 km (6.1 %)
Fartlek	0 km (0.0 %)	19.8 km (1.0 %)
Fraccionado	0 km (0.0 %)	150 (6.7 %)
Total km	1757.0 km	1231.8 km

Leyenda: CCL= Carrera Continua lenta; CCM= Carrera Continua Media; CCR= Carrera Continua Rápida.

Tabla 2. Trabajo de fuerza realizado por GFR. Se indica, para cada semana, el tipo de entrenamiento realizado en cada sesión.

Semana	Entrenamiento
1ª - 3ª semana	½ Squat continuado: 3x2x5x150% peso corporal, recuperaciones de 5' y 10'; Bounding: 2x2x20x100% Peso corporal, recuperaciones de 5' y 10'; Step: 2x2x15x25% peso corporal, recuperaciones de 5' y 10'
4ª - 5ª semana	½ squat-jump: 2x10(10-10)x50% del Peso corporal, Recuperaciones de 5' y 10'; Gemelos a una pierna en máquina: 3x10x(10x10)x50% Peso corporal, recuperaciones de 5' y 10'; Splitz-lunge: 2x2x15x20 kg recuperaciones de 5' y 10'
6ª - 7ª semana	2 series x 6 repeticiones x 80 metros en cuesta (10%). Recuperación 6'
8ª - 9ª semana	5 x 100 metros en segundos de triple. Recuperación 100 metros andando

cidad considerando como referencias rendimientos en 1000, 2000 y 3000 metros. CCR correspondía a intensidades iguales o superiores al 90%, CCM entre el 80 y el 90% y CCL por debajo del 80% (García-Manso et al., 2005).

Como ya se señaló anteriormente, el GFR incluía dos entrenamientos de fuerza semanales que se detallan en la tabla 2. Cada sesión de entrenamiento de fuerza se realizaba después del trabajo de resistencia. El trabajo global representó un volumen por sujeto de 5224.2 ± 207.7 repeticiones, 304 ± 67.9 series, que fueron ejecutadas con un peso medio de 39.0 ± 5.3 kg y un coeficiente de intensidad de 32.2 kg.

Test. En el pre, mitad y el post del periodo de entrenamiento se evaluaron los test de control en tres sesiones diferentes. Día 1): medidas antropométricas y test en tapiz rodante para medir capacidad aeróbica; Día 2): Test de fuerza máxima (3RM) y fuerza resistencia (Repeticiones máximas realizadas con el 50% del 3-RM); Día 3): Test de carrera de 60 metros, 300 metros y 2000 metros. Los sujetos fueron instruidos para que se abstuvieran de realizar ejercicio intenso el día anterior a las evaluaciones. Debían abstenerse de comer durante los tres hora precedentes o consumir algún producto que resultara estimulante. Todas las pruebas se realizaron en condiciones ambientales y horarias similares para evitar la influencia del ritmo circadiano sobre el resultado de las pruebas.

Test para medir la capacidad aeróbica. Se realizó un test de esfuerzo en tapiz rodante con pendiente de 0.5%. Se aplicó un incremento en rampa para prevenir el cese prematuro del ejercicio por fatiga originada por escalones demasiado largos (Kang et al. 2001). Los incrementos fueron adaptados de forma individual tratando que la duración del test fuera de entre 10-12 minutos (Buchfuhrer et al. 1983). La respuesta ventilatoria fue monitorizada *breath-by-breath*, y promediada cada 15 segundos (CPX, Medical Graphics, St. Paul,

Minnesota, USA). El analizador fue calibrado para cada prueba con una mezcla de gases conocida.

Test de fuerza. Fuerza máxima (3-RM) y fuerza-resistencia (Repeticiones con el 50%-3RM) fueron determinadas en una prensa inclinada de piernas (Salter m-499). Previamente se hicieron dos sesiones de familiarización con el propósito de acercar a los sujetos con los ejercicios que debían realizar. Para asegurar la calidad de los movimientos, cada repetición era controlada con un electrogoniómetro que registraba el ángulo de flexión de la articulación de la rodilla (Musclelab 4000).

Test de velocidad. Se hicieron dos pruebas de 60 metros con 6 minutos de recuperación entre cada una de ellas. Para su evaluación se utilizó una pista de tartán y un radar profesional (Stalker Pro II) situado detrás de cada sujeto durante la prueba.

Test de resistencia anaeróbica. Se realizó, por parejas, un test de 300 metros de carrera en pista de atletismo.

Medidas antropométricas. Las medidas antropométricas utilizadas en el estudio se evaluaron utilizando un estadiómetro con precisión de 0.1 cm (Seca Corp., Columbia Mayland), un calibrador de pliegues grasos con precisión de 0.2 mm (Holtain Skinfold Caliper, Holtain Ltd., Dyfed, UK) y una cinta métrica metálica inextensible de 2 metros de longitud y 0.5 centímetros de ancho. Se realizaron medidas de muslo y pantorrilla por ser estos los segmentos corporales más solicitados con el protocolo de entrenamiento utilizado.

Pliegues grasos. Se midieron los pliegues de muslo frontal y pantorrilla medial. El primero de ellos se determinó sobre la pierna dominante en un punto situado sobre la línea que discurre paralela al eje longitudinal del fémur y con la articulación de la rodilla flexionada 90°. El pliegue de pantorrilla se midió con la misma flexión de la rodilla en un punto situado en la cara medial de la zona de perímetro mayor.

Diámetros. Se midieron muslo medial y pantorrilla del lado dominante de cada extremidad. El primero se determina perpendicular a longitud del muslo en el punto medio entre el trocánter mayor del fémur y el punto tibial lateral. El de la pantorrilla se determina en la cara lateral de la pierna en el punto donde el diámetro era mayor.

Estadística. El tratamiento estadístico se realizó mediante el paquete estadístico SPSS 22.0 para Windows. En el estudio descriptivo de los resultados se contemplaron media y desviación típica y rangos (máximo y mínimo). La normalidad de cada una de las variables analizadas se realizó mediante la prueba de Shapiro-Wilk. La comparación de medias entre los tests pre, mitad y post se realizó aplicando la ANOVA de medidas repetidas para muestras relacionadas. Para la compa-

ración entre grupos se aplicó una prueba *t* de student. La significación estadística se estableció en $p \leq 0.05$. También se determinó, para cada variable, el tamaño del efecto con el fin de disponer de mayor información sobre la fortaleza de los cambios observados

Resultados

Los resultados de las tres evaluaciones realizadas (pre, mitad y post) se muestran en la Tabla 3. También se incluyen estadísticos descriptivos (media y desviación típica) y estadísticas comparativas (*p*-valor y tamaño del efecto).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas (Pre-Post) entre ambos grupos (GR-GFR) en la resistencia anaeróbica (IC95: -3.68, -0.04; $p=0.045$) y cierta tendencia en el consumo máximo de oxígeno (IC95: -0.198, 5.832; $p=0.065$). En el resto de variables no se detectaron cambios relevantes al final de la intervención entre los dos grupos.

Discusión

En esta muestra el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia, específicamente cuando el entrenamiento de ambas capacidades se realiza mediante una estructura de bloques concentrados de diferente orientación de fuerza (bloques concentrados), no fue más beneficioso que entrenar solo la resistencia. No se detectaron diferencias relevantes entre los dos grupos al final de las nueve semanas de entrenamiento. Ambos grupos mejoraron significativamente su rendimiento en la carrera de 2000 metros, la fuerza máxima (3RM), la resistencia de fuerza y la capacidad aeróbica. Los cambios fueron poco apreciables en el resto de los parámetros evaluados.

Adaptaciones en el sistema de aporte de oxígeno. Las mayores ganancias se detectaron en la carrera de 2000 metros, donde se observaron mejoras significativas desde el primer mesociclo de entrenamiento. No obstante, no se detectaron diferencias apreciables entre ambos grupos. Las mejoras en el rendimiento en carrera correlacionaron con los cambios detectados en el sistema de aporte de oxígeno. Esto a priori resulta coherente, ya que tradicionalmente se sugiere que el rendimiento en pruebas de resistencia (media o larga distancia) viene determinado principalmente por los valores que muestran los deportistas en este parámetro respiratorio ($VO_2\max$), el umbral anaeróbico y la economía de carrera (Basset & Howley, 2000). Las mejoras en el $VO_2\max$ fueron importantes en ambos gru-

Tabla 3. Resultados del test de laboratorio (treadmill), test de carrera (60m, 300 m, 2000m), test de fuerza (3RM y R50%-3RM) y antropometría (perímetro y pliegues de muslo y pantorrilla).

Grupo Resistencia (GR)					
Variable	Pre	Mitad	Post	% de variación	TE (Pre-Post)
VO _{2max} (ml/kg/min)	54,2±3.2	57.2±1.6	57,9±2.9**	6,4	0.54
Time 2000 m (segundos)	455.4±27.2	420.4±12.8**	407.9±19.1**	-11,6	0.71
3RM (kilos)	116.4±7.8	129.3±5.6	133.1±10.4	12,5	0.67
R50%-3RM (Repeticiones)	87.3±10.3	84.9±11.4	81.0±11.8	-7,8	0.27
60 metros (segundos)	7.69±0.22	7.58±0.30*	7.64±0.20	-0,7	0.12
300 metros (segundos)	42.28±1.46	43.61±1.96*	42.93±1.40	1,5	0.22
Pliegue Muslo (mm)	9.7±3.0	8.8±3.7	8.3±1.6	-16,9	0.28
Pliegue Pantorrilla (mm)	5.8±0.7	5.3±0.8	5.0±0.9	-16	0.44
Diámetro Muslo (mm)	51.0±1.3	51.6±1.4	52.5±2.0	2,9	0.41
Diámetro Gemelos (mm)	34.5±1.1	35.1±1.4	35.3±1.0	2,3	0.36
Grupo Fuerza – Resistencia (GFR)					
VO _{2max} (ml/kg/min)	52.3 ±5.8	55.2 ±4.4*	58.7±4.1**	10,9	0.54
Time 2000m (segundos)	452.6 ±32.2	418.4 ±20.2**	407.0±19.1**	-11,2	0.65
3RM (kilos)	129.4 ±33.4	165.2 ±38.0*	163.0±37.1*	20,6	0.43
R50%-3RM (Repeticiones)	77.2 ±14.9	85.6 ±22.9*	85.9±17.3*	10,1	0.26
60 meter (segundos)	7.80 ±0.24	7.83 ±0.17	7.84±0.21	0,5	0.09
300 meter (segundos)	44.23 ±1.93	43.61 ±2.03	43.03±1.93	-2,8	0.30
Pliegue Muslo (mm)	12.3 ±5.2	10.8 ±3.7	10.6±3.5	-16	0.19
Pliegue Pantorrilla (mm)	7.6±2.2	7.0 ±2.4*	6.7±2.1*	-13,4	0.20
Diámetro Muslo (mm)	55.3 ±4.2	54.0 ±3.5	54.2±3.4	-2	0.14
Diámetro Gemelos (mm)	35.0 ±2.2	35.3 ±2.7	35.0±2.3	0	0.00

** p<0.001; * p<0.01

pos, y especialmente en GRF, aunque sin diferencias estadísticamente significativas entre los dos protocolos de entrenamiento (p=0.29; IC95: -0.446, 0.145; TE=0.24). Estos resultados están en línea con los obtenidos por Millet et al., (2002) aunque en este caso con sujetos de mayor nivel de rendimiento y VO₂max más elevado. No obstante, tales adaptaciones en el consumo de oxígeno no explican totalmente los beneficios obtenidos con ambos protocolos de entrenamiento.

Cambios en los niveles de fuerza. Existen otros parámetros funcionales y biomecánicos que también pueden influir en las mejoras de rendimiento. Un factor especialmente relevante es el entrenamiento de fuerza y sus naturales respuestas adaptativas. En este caso, se hará referencia en primer lugar a los cambios morfológicos que pudiera provocar el trabajo con sobrecargas como el que fue utilizado en los dos primeros bloques de entrenamiento realizado por el GFR. Parte de estos cambios pudieran estar vinculados a la hipertrofia muscular que habitualmente acompaña al entrenamiento de la fuerza (Wu et al., 2011). En este caso, el entrenamiento concurrente no solo no redujo el diámetro corregido del muslo y la pantorrilla, sino que lo incrementó moderadamente. Lo llamativo del caso es que los cambios morfológicos se dieron de forma similar en ambos grupos. Estos resultados posiblemente se deban a la reducción de grasa encontrada en ambos segmentos, algo habitual cuando un sujeto es sometido

do a entrenamientos de resistencia o fuerza (Wilson et al., 2012).

Es difícil concluir qué fue lo que, en este estudio, provocó los cambios en la composición y tamaño de la pierna, sin embargo existen dos aspectos que podrían estar detrás de esta respuesta adaptativa: el nivel previo de entrenamiento y la respuesta hormonal y molecular que el entrenamiento provocó en estos sujetos. Aunque no se detectaron cambios importantes en el volumen de muslo y pantorrilla, es lógico pensar que por el efecto del entrenamiento se generaron adaptaciones morfo-funcionales en la musculatura entrenada a pesar de que el protocolo utilizado solo duraba nueve semanas. Entrenamientos similares suelen ir acompañados por un incremento en las fibras tipo IIA y una reducción de la proporción de fibras IIX (Aagaard et al., 2011).

Si los cambios morfológicos responden a un entrenamiento adecuadamente planificado es lógico pensar que se detecten mejoras sustanciales en la fuerza y en la producción de fuerza en la unidad de tiempo (Rate Force Development: RFD) de los sujetos entrenados. Esto se cumple fielmente en nuestro protocolo, aunque la especificidad de cada protocolo no se ve claramente reflejada al comparar ambos grupos. Si bien el GFR mejoró más en los test de fuerza (3RM y R50%-3RM), las diferencias entre ambos grupos no fueron estadísticamente significativas.

Es un hecho que los ejercicios propuestos a partir del segundo bloque de fuerza contienen ejercicios con un perfil claramente explosivo (pliométricos) donde la velocidad de desarrollo de la fuerza es siempre elevada. Estos ejercicios suelen vincularse a mejoras en el rendimiento en carreras de media y larga distancia (Paavolainen et al., 1999; Spurrs et al. 2003) y, muy especialmente, en la economía de carrera de los corredores que practican estas disciplinas atléticas (Turner et al., 2003; Berryman et al., 2010). Mejoras en la rigidez músculo-tendinosa y en la capacidad reactiva de la musculatura que realiza la extensión del tobillo (tendón de Aquiles, gemelos y sóleo principalmente) pueden ser algunos de los factores que subyacen detrás de estos rendimientos. No obstante, en protocolos de esta naturaleza, se debe ser prudente con el trabajo de fuerza programado, especialmente en la magnitud y tipo de las cargas seleccionadas, ya que pueden llegar a provocar una hipertrofia excesiva de la musculatura trabajada, lo que podría ser contraproducente para el corredor de larga distancia. Al aumento del peso corporal, algo ya por sí contraproducente, se debe añadir el riesgo de un incremento excesivo de la sección transversal de las fibras, algo que podría afectar negativamente al ratio entre el número de capilares por fibra y el aumento de la distancia de difusión de nutriente y detritos en la célula (Rønnestad & Mujika, 2014).

Otro aspecto interesante del trabajo concurrente es que al incluir un trabajo de fuerza se provocan adaptaciones neuromusculares que permiten aumentar el pool de fibras reclutadas de forma sincronizada y la forma en que estas son reclutadas. Esto es especialmente interesante si las ganancias de fuerza se transfieren de manera eficaz a las exigencias del ejercicio y a la aplicación de fuerzas del gesto deportivo (Paavolainen et al., 1991; Albernethy et al., 1994). En cualquier caso, hasta la fecha no está bien documentado que esas ganancias se traduzcan siempre en beneficios para el rendimiento en pruebas atléticas de resistencia (Rønnestad & Mujika, 2014). Aún menos claro está que las ganancias se puedan manifestar en mejoras de la capacidad aeróbica (VO_{2max}) (Saunders et al., 2006; Mikkola et al., 2007, 2011; Storen et al., 2008; Taipale et al., 2013).

Cambios en la velocidad y la resistencia a la velocidad. En este estudio las mejoras de fuerza máxima (3RM) y fuerza-resistencia (R50%3RM) no se manifestaron en mejoras de la velocidad (60 metros) o de la resistencia a la velocidad (300 metros). Sin duda, el trabajo aeróbico

realizado amortiguó los potenciales beneficios que los ejercicios de fuerza pudieran haber provocado en estos parámetros. Es un hecho bien conocido que ganancias en la capacidad anaeróbica se relacionan directamente con la mejora de rendimiento en este tipo de pruebas (Bulbulian et al., 1986; Mikkola et al., 2011). Incluso, Noakes (1988), ha sugerido que, en atletas de élite, los niveles de resistencia anaeróbica y fuerza pueden ser mejores predictores de éxito en estas disciplinas que el VO_{2max} . Esto queda claro (y estadísticamente reflejado) en el caso del grupo que incluyó la fuerza en su protocolo, el cual consiguió mejores resultados que cuando sólo se entrenó la resistencia.

Conclusión

Para este estudio, y con los protocolos y muestra utilizada, se puede afirmar que incorporar un trabajo de fuerza no siempre conlleva mayores beneficios respecto a un entrenamiento exclusivo de la carrera. Aspectos como las características de la muestra y el diseño de entrenamiento resultan determinantes para conseguir efectos más o menos relevantes al incluir un trabajo concurrente de fuerza y resistencia.

Limitaciones

La principal limitación del estudio corresponde a las numerosas estrategias y metodologías que se pueden establecer en el entrenamiento concurrente de fuerza y resistencia. En este estudio nos inclinamos por el trabajo mediante orientaciones sucesivas de la fuerza (Fuerza Máxima → Resistencia de Fuerza → Transferencia de Fuerza → Fuerza Especial), siendo conscientes de que existen en la bibliografía especializada otras formas de abordar este tipo de entrenamiento.

Aplicaciones prácticas

Nuestros resultados proporcionan una base biológica sobre las que sustentar los efectos de la respuesta adaptativa vinculada al entrenamiento concurrente de la fuerza y la resistencia en sujetos moderadamente entrenados en pruebas de resistencia. Según esto, y a diferencia a lo que ocurre en otras poblaciones, no siempre el trabajo simultáneo de ambas capacidades es más efectivo que el trabajo aislado y especializado de resistencia.

BIBLIOGRAFÍA

- Aagaard, P., & Andersen, J. L. (2010). Effects of strength training on endurance capacity in top-level endurance athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20(s2), 39-47.
- Aagaard, P., Andersen, J.L., Bennekou, M., Larsson, B., Olesen, J.L., Cramer, R., Magnusson, S.P. & Kjaer, M. (2011). Effects of resistance training on endurance capacity and muscle fiber composition in young top-level cyclists. *Scandinavian Journal Medicine Science Sports*, 21, e298-e307.
- Abernethy, P. J., Jürimäe, J., Logan, P. A., Taylor, A. W., & Thayer, R. E. (1994). Acute and chronic response of skeletal muscle to resistance exercise. *Sports Medicine*, 17(1), 22-38.
- Bassett, D.R. & Howley, E.T. (2000). Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Medicine Science Sports Exercise*, 32, 70-84.
- Bazyler, C. D., Abbott, H. A., Bellon, C. R., Taber, C. B., & Stone, M. H. (2015). Strength training for endurance athletes: Theory to practice. *Strength & Conditioning Journal*, 37(2), 1-12.
- Beattie, K., Kenny, I. C., Lyons, M., & Carson, B. P. (2014). The effect of strength training on performance in endurance athletes. *Sports Medicine*, 44(6), 845-865.
- Berryman, N., Maurel, D., & Bosquet, L. (2010). Effect of plyometric vs. dynamic weight training on the energy cost of running. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 24(7), 1818-1825.
- Buchfuhrer, M.J., Hansen, J.E., Robinson, T.E., Sue, D.Y., Wasserman, K. & Whipp, B.J. (1983) Optimizing the exercise protocol for cardiopulmonary assessment. *Journal Applied Physiology*, 55,1558-1564
- Bulbulian, R., Wilcox, A.R. & Darabos, B.L. (1986) Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. *Medicine Science Sports Exercies*, 18,107-113.
- García-Manso, J. M., Martín-González, J. M., Dávila, N., & Arriaza, E. (2005). Middle and long distance athletics races viewed from the perspective of complexity. *Journal of Theoretical Biology*, 233(2), 191-198.
- García-Pallarés, J., & Izquierdo, M. (2011). Strategies to optimize concurrent training of strength and aerobic fitness for rowing and canoeing. *Sports Medicine*, 41(4), 329-343.
- Guglielmo, L.G., Greco, C.C. & Denadai, B.S. (2009) Effects of strength training on running economy. *International Journal Sports Medicine*, 30, 27-32.
- Heggelund, J., Fimland, M.S., Helgerud, J. & Hoff (2013) J. Maximal strength training improves work economy, rate of force development and maximal strength more than conventional strength training. *European Journal Applied Physiology*, 113, 1565-1573.
- Hickson, R.C., Dvorak, B.A., Gorostiaga, E.M., Kurowski, T.T. & Foster, C. (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *Journal Applied Physiology*, 65, 2285-2290.
- Hoff, J., Gran, A. & Helgerud, J. (2002). Maximal strength training improves aerobic endurance performance. *Scandinavian Journal Medicine Science Sports*, 12, 288-295.
- Kang, J., Chaloupka, E.C., Mastrangelo, M.A., Biren, G.B. & Robertson, R.J. (2001) Physiological comparisons among three maximal treadmill exercise protocols in trained and untrained individuals. *European Journal Applied Physiology*, 84,291-295
- Mikkola, J., Rusko, H., Nummela, A., Pollari, T., & Häkkinen, K. (2007). Concurrent endurance and explosive type strength training improves neuromuscular and anaerobic characteristics in young distance runners. *International Journal of Sports Medicine*, 28(07), 602-611.
- Mikkola, J., Vesterinen, V., Taipale, R., Capostagno, B., Häkkinen, K. & Nummela, A. (2011). Effect of resistance training regimens on treadmill running and neuromuscular performance in recreational endurance runners. *Journal Sports Science*, 29, 1359-1371.
- Millet, G.P., Jaouen, B., Borrani, F. & Candau, R. (2002). Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO2 kinetics. *Medicine Science Sports Exercies*, 34, 1351-1359.
- Noakes, T.D. (1988). Implications of exercise testing for prediction of Athletic performance: a contemporary perspective. *Medicine Science Sports Exercies*, 20, 319-330
- Paavolainen, L., Häkkinen, K. & Rusko, H. (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *European Journal Applied Physiology and Occupational Physiology*, 62(4), 251-255.
- Paavolainen, L.M., Nummela, A.T. & Rusko, H.K. (1999). Neuromuscular characteristics and muscle power as determinants of 5-km running performance. *Medicine and Science Sports and Exercies*, 31, 124-130.
- Rønnestad, B. R., & Mujika, I. (2014). Optimizing strength training for running and cycling endurance performance: A review. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 24(4), 603-612.
- Saunders, P.U., Telford, R.D., Pyne, D.B., Peltola, E.M., Cunningham, R.B., Gore, C.J. & Hawley, J.A. (2006). Short-term plyometric training improves running economy in highly trained middle and long distance runners. *Journal of Strength Condition Research*, 20, 947-954.
- Spurrs, R.W., Murphy, A.J. & Watsford, M.L. (2003). The effect of plyometric training on distance running performance. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 1-7.
- Støren, O., Helgerud, J., Stoa, E.M. & Hoff, J. (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Medicine Science Sports Exercies*, 40, 1087-1092.
- Støren, O., Ulevåg, K., Larsen, M.H., Støa, E.M. & Helgerud, J. (2013). Physiological determinants of the cycling time trial. *Journal of Strength & Condition Research*, 27, 2366-2373.
- Taipale, R.S., Mikkola, J., Vesterinen, V., Nummela, A. & Häkkinen, K. (2013). Neuromuscular adaptations during Strength training and endurance performance combined strength and endurance training in endurance runners: maximal versus explosive strength training or a mix of both. *European Journal of Applied Physiology*, 113, 325-335.
- Turner, A.M., Owings, M. & Schwane, J.A. (2003). Improvement in running economy after 6 weeks of plyometric training. *Journal of Strength & Condition Research*, 17, 60-67.
- Verjoshanski, I. V. (1990). *Entrenamiento deportivo: planificación y programación*. Barcelona. Editorial Ediciones Martínez Roca.
- Wilson, J. M., Marin, P. J., Rhea, M. R., Wilson, S. M., Loenneke, J. P., & Anderson, J. C. (2012). Concurrent training: a meta-analysis examining interference of aerobic and resistance exercises. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 26(8), 2293-2307.
- Wu, J., Ruas, J. L., Estall, J. L., Rasbach, K. A., Choi, J. H., Ye, L., ... & Rutkowski, D. T. (2011). The unfolded protein response mediates adaptation to exercise in skeletal muscle through a PGC-1 α /ATF6 α complex. *Cell metabolism*, 13(2), 160-169.
- Yamamoto, L. M., Lopez, R. M., Klau, J. F., Casa, D. J., Kraemer, W. J., & Maresh, C. M. (2008). The effects of resistance training on endurance distance running performance among highly trained runners: A systematic review. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 22(6), 2036-2044.