PubliCE, (PubliCE) 2002

Research

Efectos de los Entrenamientos de Resistencia y Fuerza Concurrentes sobre la Economía de Carrera y la Cinética del VO2

Gregoire P Millet[1], Bernard Jaouen[1], Fabio Borrani[1] y Robin Candau[1]

[1]UPRES-EA 2991, Sport, Perfomance, Santé; Faculté des Sciences du Sport, Montpellier, FRANCE; y CREPS de Montpellier, Montpellier, FRANCE.

RESUMEN

Ha sido sugerido que el entrenamiento de resistencia influencia la economía de carrera (CR) y la cinética de la captación de oxígeno (VO_2) en el ejercicio intenso por medio de la aceleración del fase principal y atenuando el componente lento del VO_2. Sin embargo, permanecen poco claros los efectos del entrenamiento de la fuerza intenso (HWT) en combinación con el entrenamiento de resistencia. El propósito de este estudio fue examinar la influencia de los entrenamientos de HWT y resistencia concurrentes sobre la CR y la cinética del VO_2 en atletas de resistencia. 15 triatletas fueron asignados para entrenar la resistencia + fuerza (ES) o la resistencia sola (E) durante 14 semanas. El programa de entrenamiento era similar, excepto que el grupo HWT realizó dos sesiones de HWT a la semana. antes y después del período de entrenamiento, los sujetos realizaron: 1) una evaluación de campo de carrera incremental para la determinación del VO_2 máx. y la velocidad asociada ($V_{VO2máx.}$), y para la determinación del segundo umbral ventilatorio (VT_2); 2) una carrera de 3000m a velocidad constante, calculada para requerir el 25 % de la diferencia entre el VO_2 máx. y el VT_2 , para determinar la CR y las características de la cinética del VO_2; 3) evaluaciones máximas de saltabilidad para determinar la potencia mecánica máxima y la dureza muscular (stiffness) de los miembros inferiores; 4) mediciones de la fuerza concéntrica máxima de los miembros inferiores. Luego del período de entrenamiento, la fuerza máxima fue incrementada ($P<0.01$) en el grupo ES, pero permaneció sin cambios en el grupo E. La potencia de salto disminuyó en el grupo E ($P<0.05$). Luego del entrenamiento, la economía de carrera ($P<0.05$) y la potencia de salto ($P<0.001$) fueron mayores en el grupo ES que en el grupo E. El VO_2 máx., la dureza muscular de las piernas y la cinética del VO_2 no fueron significativamente afectados por el entrenamiento tanto en el grupo ES como en el E. El entrenamiento de HWT adicional condujo a incrementos en la fuerza máxima y en la economía de carrera, con ningún efecto significativo sobre el patrón de cinética del VO_2 en el ejercicio intenso.

Palabras Clave: costo energético, máximo consumo de oxígeno, componente lento de la captación de oxígeno, potencia d

INTRODUCCIÓN

Los efectos combinados de los entrenamientos de fuerza y resistencia concurrentes sobre al rendimiento en resistencia de sujetos desentrenados (12, 16, 18, 19, 25) o atletas entrenados (13, 14, 22, 23) han sido extensivamente estudiados. Hay

evidencia que sugiere que el entrenamiento de resistencia inhibe el máximo desarrollo de la fuerza, principalmente unas pocas semanas después del comienzo de un régimen de entrenamiento concurrente (25). Ha sido sugerido que aunque el entrenamiento de la fuerza no interfiere con el desarrollo de la máxima captación de O_2 (VO_2 máx.) (11-12, 18), puede conducir a incrementos del rendimiento de resistencia en sujetos desentrenados (11, 12, 18, 17, 25) o atletas moderadamente entrenados (13).

Ha sido bien documentado que la velocidad alcanzada en las competiciones de resistencia no solo depende de la tasa de gasto energético, sino que también lo hace del costo energético (CR) de la locomoción considerada (9). También parece que la CR puede predecir mejor el rendimiento en resistencia que el VO_2 máx. en un grupo homogéneo de atletas (8). Sin embargo, los efectos de los entrenamientos concurrentes de fuerza y resistencia sobre la economía de carrera en atletas de resistencia bien entrenados están todavía poco claros. Ha sido argumentado que el entrenamiento de la fuerza incrementa (13, 14, 23) o no tiene ninguna influencia (29) sobre la economía de carrera. Paavolainen et al. (22, 23) investigaron los efectos del entrenamiento de la fuerza explosiva en atletas bien entrenados, pero los efectos de los entrenamientos concurrentes de fuerza de alta intensidad (HWT) y de resistencia, sobre la economía de carrera no han sido estudiados en atletas de élite.

A los niveles más altos de las intensidades submáximas, arriba del umbral láctico, la CR representa solo la contribución aeróbica al gasto energético total (9), y esta parte aeróbica tiende a aumentar lentamente. El componente lento de la cinética de la captación de oxígeno en los ejercicios de larga duración e intensidad constante puede ser descrito como un incremento en el gasto energético arriba del predecido a partir de la relación de tasa de trabajo-VO_2 submáximo, conduciendo a una eficiencia de trabajo reducida (10). Varios estudios (5, 6, 10, 21, 24, 28) han demostrado que el entrenamiento de resistencia resulta en cambios en la cinética del VO_2, por lo tanto esto conduce a un menor tiempo de la fase principal (21, 24) y una amplitud reducida del componente lento del VO_2 (5, 10, 28). Ha sido propuesto que cerca del 85 % del componente lento del VO_2 esta localizado al nivel muscular (10) y los factores centrales tienen solo una pequeña influencia en su amplitud. Ha sido sugerido que un componente lento de VO_2, limitado puede ser un parámetro importante del rendimiento de resistencia (10). Sin embargo, en el mayor de nuestros conocimientos, muy poco es conocido sobre los efectos del entrenamiento de la fuerza sobre las características de la cinética del VO_2, especialmente los parámetros que describen la fase principal y el componente lento (29). De este modo, el propósito de este estudio fue examinar los efectos de un régimen de entrenamiento de la fuerza máxima, en combinación con un programa de entrenamiento de resistencia ya existente, sobre la economía de carrera en triatletas bien entrenados. Además, este estudio fue conducido para determinar si el entrenamiento de la fuerza influencia la cinética del VO_2 durante un ejercicio de carrera de alta intensidad a velocidad constante.

MÉTODOS

Acercamiento al problema y al diseño experimental

Durante el presente estudio fue evaluada la hipótesis que afirma que los entrenamientos de HWT y resistencia combinados conducirían a mayores niveles de fuerza del tren inferior, mayor potencia y dureza muscular y que los mismos son más transferibles a una mejor economía de carrera que el entrenamiento de resistencia solo.

Para contestar esta pregunta y comparar los impactos de entrenamientos combinados versus entrenamientos de resistencia sola, nosotros elegimos dos regimenes de entrenamiento diferentes, apropiados para ser incluidos en la planificación de invierno de triatletas de nivel nacional e internacional, a través de un largo período de 14 semanas, una duración clásica observada en los deportes de resistencia. Un acercamiento basado en el campo fue aplicado para evaluar las adaptaciones centrales y periféricas reales que podrían influenciar el rendimiento.

Sujetos

15 sujetos bien entrenados fueron asignados al azar al grupo de entrenamiento de resistencia-fuerza (ES; n =7) o al grupo de entrenamiento de resistencia sola (E; n =8). Siete de ellos, eran atletas de nivel internacional (equipo nacional de élite), y fueron distribuidos en los dos grupos (tres en ES y cuatro en E). Todos los sujetos accedieron a participar en el estudio sobre una base voluntaria. El estudio fue aprobado por el comité de ética institucional, y todos los sujetos entregaron un informe de consentimiento escrito y voluntario antes de la participación. Todos los sujetos estaban completamente familiarizados con los procedimientos de evaluación, habiendo sido regularmente evaluados como parte de sus evaluaciones de entrenamiento. Las características físicas de los grupos están presentadas en la Tabla 1.

Métodos

Antes y después de un período de entrenamiento controlado, todos los sujetos realizaron evaluaciones de carrera en el campo y en el laboratorio, junto con evaluaciones de función muscular.

				Características del Entrenamiento					
	Edad (años)	**Talla (cm)**	**Peso (kg)**	**Entre-nam. total (años)**	**Nata-ción (km / sem)**	**Ciclis-mo (km / sem)**	**Carre-ra (km / sem)**	**Flexib. (horas / sem)**	**Cant. (h / sem)**
ES (n = 9)	24,3 ±5,2	175,4 ±9,1	67,4 ±8,8	7,0 ±2,6	18,3 ±5,0	221 ±49	48 ±7	1,6 ±0,5	20,5 ±3,8
E (n = 8)	21,4 ±2,1	175,4 ±5,4	65,0 ± 7,4	6,6 ±1,7	19,8 ±4,0	210 ±50	44 ±5	1,6 ±0,5	20,3 ±3,0

Tabla 1*. Características principales de los triatletas de resistencia y fuerza (ES) y de los triatletas de resistencia (E). Peso, peso preentrenamiento.*

La primera evaluación implico un test de carrera incremental hasta el agotamiento para determinar el máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.), la velocidad asociada con el VO_2 máx. ($V_{VO2\ máx}$.), la velocidad asociada con el segundo umbral ventilatorio (V_{vt2}), y la intensidad asociada a la intensidad llamada Δ 25% ($V_{\Delta 25\%}$), correspondiente al VO_{2vt2} más el 25% de la diferencia entre el VO_{2vt2} y el VO_2 máx. La segunda evaluación comprometió una carrera de 3000 m a una $V_{\Delta 25\%}$ controlada y constante, precedida por 6 min al 75 % $V_{VO2\ máx}$. para determinar el gasto energético de la carrera a las dos intensidades ($CR_{75\%}$ y $CR_{\Delta 25\%}$) y registrar los datos de VO_2 respiración a respiración para modelar la cinética del VO_2 durante el ejercicio. Una tercer serie de evaluaciones incluyó tests de saltabilidad máximos a una frecuencia de 2 Hz para determinar la potencia mecánica de saltabilidad máxima y la dureza muscular o stiffness del tren inferior. La cuarta serie de evaluaciones estuvo constituida por mediciones de la fuerza concéntrica máxima del tren inferior.

Entrenamiento General

El período de entrenamiento duro 14 semanas y fue llevado a cabo durante el período de invierno, cuando los sujetos no estuvieron implicados en ninguna competencia. El período de entrenamiento empezó después de una fase de preacondicionamiento-orientación de 10 semanas, donde los sujetos reiniciaron el entrenamiento consistente. Todos los atletas eran experimentados y eran miembros de un centro de entrenamiento residencial donde estaban bajo el control de entrenadores profesionales. Además, ellos registraban los ejercicios de entrenamiento en un diario que era revisado regularmente. La vasta mayoría del entrenamiento durante el período básico fue estrictamente aeróbico, realizado debajo del 70 % del VO_2 (Tabla 1). El entrenamiento de flexibilidad permaneció constante (1,6 ±0,5 h/semana) en los dos grupos.

Entrenamiento de la Fuerza

Además del entrenamiento de resistencia, el grupo ES realizó una sesión de HWT de los músculos del tren inferior, dos veces por semana. Los ejercicios (flexión muslos, prensa de piernas, prensa sentado, sentadilla paralela, extensión muslos y elevación talones) estuvieron exclusivamente focalizados sobre los cuadriceps, los isquiotibiales y los músculos de las pantorrillas. Las series de trabajo consistían de dos series de entrada en calor seguidas por 3 a 5 series de 3-5 repeticiones hasta el fallo. El programa de entrenamiento fue periodizado y estuvo compuesto de varios períodos de 3 semanas. En cada uno de estos períodos, el número de series se incrementaba (i.e., 3 en la primera semana, 4 en la segunda semana y 5 en la tercera semana). Las cargas fueron calculadas para ser > 90% de una repetición máxima (1 RM) y fueron progresivamente incrementadas para mantener este rango de repeticiones por serie. La reevaluación de 1 RM fue completada por el grupo ES cada 3 semanas para mantener las cargas máximas a través de todo el período de entrenamiento.

Evaluaciones

Los grupos ES y E fueron examinados antes y después del período de entrenamiento. El protocolo de evaluación fue conducido a través de dos días consecutivos en una pista sintética de 400 m, luego por un día adicional en la semana siguiente en el laboratorio para las evaluaciones de fuerza concéntrica y de saltabilidad. El grupo ES realizó evaluaciones de la fuerza máxima suplementarias en la semana 6.

Mediciones de la Fuerza Concéntrica Máxima del Tren Inferior

Las evaluaciones de la fuerza concéntrica máxima del tren inferior fueron realizadas usando dos ejercicios (media sentadilla y elevación talones) por todos los atletas antes y después del período de entrenamiento. Después de un trabajo de entrada en calor, la carga de los sujetos cerca del máximo fue aproximada por el entrenador para estar cerca del 90 % de la mejor carga previa del sujeto. La carga fue gradualmente incrementada hasta que el sujeto pudo levantar la resistencia solo una vez, pero no dos veces. Esta carga fue de este modo definida como 1 RM. Para la media sentadilla, la posición de inicio era en un ángulo de rodilla de 120º, y el ejercicio era realizado en una máquina multifuerza, asegurando la máxima seguridad. La amplitud del movimiento era controlada por el entrenador. Para cada ejercicio de elevación de talones, la posición de inicio era una posición estática con las piernas extendidas. Debido a que la resistencia era máxima, dos asistentes ayudaban a los sujetos a posicionar la barra correctamente arriba de los hombros, para prevenir cualquier accidente.

Evaluaciones de Saltabilidad

Fueron ejecutados por los sujetos rebotes verticales máximos sobre ambas piernas desde una posición con el sujeto erguido, a 2 Hz por 10 seg, antes y después del período de entrenamiento. Los sujetos fueron instruidos para rebotar y saltar hasta el punto más alto posible con los menores tiempos de contacto en el suelo y a mantener las manos en las caderas a través de todos los saltos (4, 7). El tiempo de vuelo (tf) y los tiempos de contacto en el suelo (tc) fueron registrados por un aparato que consistía de un timer digital conectado a una manta de contacto (Powertimer, Newtest, Oulu, Finland) con una exactitud de 1/100 s. Como se describió previamente (4, 7), el desplazamiento del centro de gravedad durante el vuelo (hf) y la potencia mecánica máxima del trabajo positivo (P) de los sujetos fueron calculados de la siguiente forma:

$hf = (g \times tf^2)/8$ (altura del salto en m) (1)

P = (m x g2 x tf x tt) x (4 x tc) (potencia máxima del salto en W) (2)

*Donde **m** es la masa corporal del sujeto, **tt** es el tiempo total del salto (**tt** =tc + tf) y g es la aceleración gravitacional.*

La dureza muscular vertical de los miembros inferiores (K_{vert}, N/m/kg) es el índice de cambio de fuerza/cambio de longitud y fue calculado como se describió previamente (7):

$K_{vert} = m \times w\theta^2$ (dureza muscular del salto de los miembros inferiores, en N/m/kg) (3)

$\text{Tan}\ (\pi - (w\theta \times tc/2)) = w\theta \times tf$ (4)

*Donde **wθ** es la oscilación forzada del cuerpo durante el salto vertical. Con **tf** y **tc** como variables conocidas la ecuación 4 puede ser resulta y **wθ** puede ser determinada.*

Evaluaciones de Carrera y Campo

Fueron colectadas las siguientes variables de intercambio de gases, usando un analizador de gases portátil respiración a respiración (Cosmed K4b2, Roma, Italia): VO_2, VCO_2, ventilación pulmonar (V_E), equivalentes respiratorios para el oxígeno (V_E/VO_2) y el dióxido de carbono (V_E/CO_2), PO_2 central final ($PETO_2$) y PCO_2 central final ($PETCO_2$). Los procedimientos de calibración fueron realizados antes de cada evaluación de acuerdo a las instrucciones del fabricante. La frecuencia cardiaca (HR) fue registrada por el $K4b^2$ por medio de un monitor de HR portátil (Polar® Electro, Kempele, Finlandia). Al final de las evaluaciones los sujetos indicaron sus escalas de esfuerzo percibido (RPE) usando una escala 6-20. Todas las evaluaciones fueron precedidas por un período de descanso de 5 min para determinar el VO_2 al nivel de base (VO_2b).

Evaluación Incremental hasta el Agotamiento

Los sujetos realizaron primero la evaluación incremental hasta el agotamiento en la pista de 400 m para determinar el máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.) y la velocidad asociada con el segundo umbral ventilatorio (V_{VT2}). Además, la velocidad ($V_{\Delta 25\%}$) correspondiente al VO_{2VT2} más el 25 % de la diferencia entre el VO_{2VT2} y el VO_2 fue calculada de la siguiente forma:

Δ 25 % = VO_{2VT2} + 0,25 x (VO_2 máx. - VO_{2VT2}) (5)

La velocidad fue establecida en 8 km/h por debajo de la $V_{VO2\ máx}$. estimada. Se esperaba que la duración del la evaluación estuviera entre 15 y 20 min. Los incrementos en la velocidad fueron establecidos en 0,5 km/h en etapas de 1 min. Los sujetos ajustaron su velocidad ante señales sonoras y marcas visuales dispuestas cada intervalos de 20 m alrededor de la

pista. Todos los sujetos estaban familiarizados con este procedimiento, habiendo completado sesiones de ejercicio de ritmo similar durante el entrenamiento. Todos los sujetos fueron alentados para que realizaran sus mejores esfuerzos. Los datos respiración a respiración fueron promediados cada 30 s, y el VO_2 máx. fue determinado como el valor más alto alcanzado, en estos períodos promediados de 30 s. La $V_{VO2\ máx}$. fue determinada como la velocidad mínima a la que fue alcanzado el VO_2 máx. El segundo umbral ventilatorio (VT_2) fue definido por: 1) un incremento sistemático en el (V_E/VO_2); 2) un incremento no lineal concomitante en el (V_E/V_{CO2}) y 3) una disminución en $\Delta PETO_2$ (diferencia en la presión de oxígeno inspirado y la presión de oxígeno central final). El VT_2 fue determinado por dos observadores independientes.

Evaluación de 3000 m a $V_{\Delta 25\%}$

En el segundo día los sujetos realizaron una carrera de 3000 m a $V_{\Delta 25\%}$. Los sujetos entraron en calor 6 min a ~ 60 % de la $V_{VO2\ máx}$., luego corrieron 6 min a una velocidad controlada de $V_{75\%}$, donde $V_{75\%}$ = 0.75 x $V_{VO2\ máx}$., es la intensidad donde un componente lento de VO_2 ha sido previamente observado (6). Antes de la iniciación de los 3000 m, los sujetos descansaban 5 min para determinar el VO_2b. Las $CR_{75\%}$ y $CR_{\Delta 25\%}$ (ml de O_2/kg/km) fueron calculadas a partir del VO_2 promedio de los minutos 3 y 4 arriba de la tasa metabólica basal (BMR), en la $V_{75\%}$ de entrada en calor y la $V_{25\%}$ de 3000 m, como sigue:

CR = $(VO_2 - 0.083) \times V^{-1}$

Donde el VO_2 está expresado en ml/kg/s, 0.083 ml/kg/s es la intersección en y de la relación velocidad-VO_2 de los adultos jóvenes, y V está expresada en m/s. En el postentrenamiento, la $V_{\Delta 25\%}$ fue reactualizada.

Variables Cinemáticas y Dureza Muscular (Stiffness) en la Carrera

La frecuencia (SF en Hz) y el largo de zancada promedio fueron registrados 8 veces, sobre 100 m en cada vuelta (SF x SL = velocidad promedio en 100 m). Los valores promedio a través de los 3000 m fueron retenidos. La dureza muscular de la piernas promedio fue aproximada con la ecuación 3, a partir de tf y tc, con tc medida en cada vuelta con la manta de contacto (Powertimer).

Cinética del VO_2

Un modelo exponencial clásico fue usado (1, 3) para describir la cinética del VO_2.

$VO_2(t) = VO_2b + A_1 \{1 - e^{-[(t-td1)\ T1]}\}\ U_1 + A_2$
Fase 2 (componente principal)
$\{1 - e^{-[(t-td2)\ T2]}\}\ U_2$
Fase 3 (componente lento) (7)

Donde $\boldsymbol{U_1}$ = 0 para $t < td_1$ y U_1 = 1 para $t \geq td_1$; $\boldsymbol{U_2}$ = 0 para $t < td_2$ y U_2 = 1 para $t \geq td_2$ (8).

VO_2b es el VO_2 en reposo, A_1 y A_2 son las amplitudes asintóticas, td_1 y td_2 son los retrasos de tiempo después del inicio del ejercicio, T_1 y T_2 son los tiempos constantes, respectivamente, para la segunda y tercera fase. Debido a que la fase principal no está distorsionada por ninguna influencia cardiodinámica, los primeros 20 s no fueron tenidos en cuenta en el cálculo de los parámetros de la fase principal (T_1 y A_1). La amplitud del componente lento del VO_2 fue definido como A'_2.

$A'_2 = A_2 \{1 - e^{-[(te-td2)/\ T2]}\}$

*Donde **te** es el tiempo al final del ejercicio.*

Como se describió previamente (3), los parámetros del modelo fueron calculados por medio de un procedimiento reiterativo minimizando la suma de los valores medios de las diferencias entre el VO_2 modelado y el VO_2 medido (ver sujeto 1 en la Figura 1A). Los valores del VO_2 respiración a respiración que estaban fuera de 3 desvíos estándar del VO_2 modelado fueron quitados, representando el 0.5 % de los datos colectados. El tiempo de retraso para la fase de complemento (td_2) fue determinado para ser más alto que el tiempo del primer componente exponencial para alcanzar A'_1, donde $A'_1 \geq 99\ \% A_1$. Un test de Fisher fue usado para determinar el grado de significancia del modelo exponencial. La distribución de los errores residuales entre el VO_2 modelado y el medido en función del tiempo fue evaluada usando regresiones lineales y no lineales.

Análisis Estadísticos

Fueron usados test t apareados para determinar la significancia de las diferencias en las variables medidas antes versus

después del entrenamiento. Cuando las evaluaciones de normalidad faltaban, un test por suma de rangos Mann-Whitney era realizado entre las variables pre y postentrenamiento. Mediciones repetidas de ANOVA fueron usadas para identificar diferencias entre los dos grupos de sujetos, por medio de la examinación de la interacción grupo x tiempo. El poder estadístico fue determinado para estar entre 0.57 y 0.69 para los tamaños de muestras usadas al nivel alfa de 0.05 (Sigma Stat, Jandel Corporation, San Rafael, CA). El tamaño de efecto (ES) fue calculado para cada evaluación y desplegado por cada efecto significativo. Fueron usados coeficientes de correlación de Pearson para examinar las relaciones entre las variables cambio de economía, cambio de potencia, y dureza muscular. Los resultados son presentados como medias ± DS. Para todos los análisis estadísticos, un valor P de 0.05 fue aceptado como el nivel de significancia estadística.

	Evaluación Incremental hasta el Agotamiento			
	VO_2 máx. (ml/min/kg)	**VT_2 (% VO_2 máx.)**	**HR (ltm)**	**RPE**
ES (n =7)				
Preentrenamiento	69,7 ±3,6	88,4 ±2,8	189 ±10	16,0 ±1,4
Entrenamiento	67,2 ±4,4	88,1 ±5,0	189 ±11	16,3 ±0,5
E (n =8)				
Preentrenamiento	67,6 ±6,4	89,3 ±8,1	190 ±5	16,5 ±1,7
Entrenamiento	67,3 ±5,6	88,8 ±6,4	189 ±5	16,5 ±1,4

***Tabla 2**. Parámetros medidos durante la evaluación de carrera de campo incremental hasta el agotamiento, antes y después del entrenamiento en los triatletas entrenados en fuerza y resistencia (ES) y los entrenados solo en resistencia (E).*
Los valores son presentados como medias ± DS. VO_2 máx.: máxima captación de oxígeno; VT2: Segundo umbral ventilatorio; HR; frecuencia cardiaca máxima; RPE: escala de esfuerzo percibido.

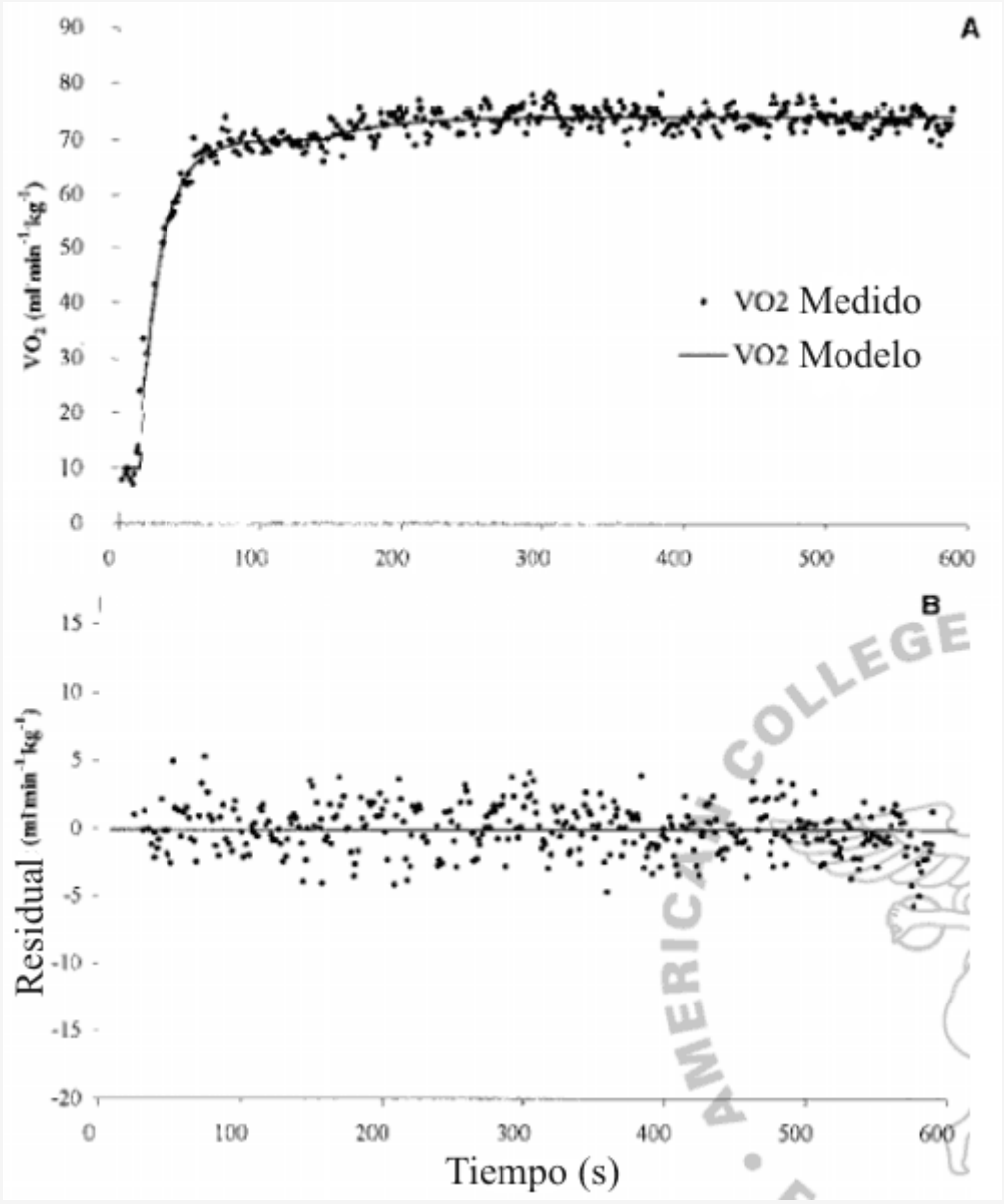


***Figura 1**. Ejemplo del sujeto 1: medición del modelo de captación de O_2 en el ejercicio pesado a velocidad constante (A) y distribución de la suma residual de los valores (B).*

RESULTADOS

Las características principales del entrenamiento de resistencia de los triatletas son presentadas en la Tabla 1. No fueron observadas diferencias en los parámetros de entrenamiento entre los grupos ES y E durante el período estudiado.

La Tabla 2 muestra el efecto de 14 semanas de entrenamiento sobre las variables fisiológicas durante la evaluación de carrera incremental en la pista. La $V_{VO2máx.\ VT2}$ no difirió significativamente entren los grupos antes del entrenamiento. Durante el período de entrenamiento, hubo un incremento significativo ($P<0.01$) en la velocidad asociada con el VO_2 máx. en el grupo ES (desde 19.5 ±1.0 a 20.0 ±0.8 km/h; ES = 0.57) pero no para el grupo E (desde 19.3 ±1.0 hasta 19.8 ±1.2 km/h; ES = 0.39) (Figura 2A). El VO_2 máx., VT_2 (% de VO_2 máx.), la frecuencia cardiaca, y la escala de esfuerzo percibido permanecieron sin cambios con el entrenamiento en los dos grupos.

La Tabla 3 muestra los efectos del entrenamiento sobre las variables fisiológicas y sobre los parámetros de la cinética del VO_2 modelado durante la carrera de 3000 m a Δ 25 % de intensidad. Fueron encontradas interacciones significativas

grupo-entrenamiento en la economía de carrera después de 14 semanas de entrenamiento, abajo del VT_2 al 75 % $V_{VO2\ máx}$ (F = 5.01; P<0.05; ES = 1.16) o arriba del VT_2 a Δ 25 % ~ 92 % $V_{VO2\ máx}$ (F = 8.0; P<0.05; ES = 1.46). Antes del entrenamiento, la $CR_{75\%}$ (193.4 ±4.3 vs. 189.8 ±13.1 ml/kg/km) y la $CR_{\Delta 25\%}$ (196.4 ±55 vs. 194.6 ±22.3 ml/kg/km) no difirieron significativamente entre los grupos ES y E. Después del entrenamiento, la $CR_{75\%}$ (180.2 ±20.0 vs. 203 ±20.2 ml/kg/km; ES = 1.14) y la $CR_{\Delta 25\%}$ (185.4 ±16 vs. 205.2 ±18.1 ml/kg/km; ES = 1.15) fueron significativamente más bajas (P<0.05) en el grupo ES que en el grupo E (Figura 2B). No fue observado ningún cambio durante el período de entrenamiento en los grupos ES y E en $V_{\Delta 25\%}$, HR o RPE al final del ejercicio durante la $V_{\Delta 25\%}$ de 3000 m. La cinética de la respuesta del VO_2 fue modelada con dos términos exponenciales (1) en todos los sujetos, ya que la duración del ejercicio fue siempre más larga que el tiempo constante del componente lento. En otras palabras, en el presente estudio, el uso de un término lineal en vez de una función exponencial hubiera resultado en una menor relación entre las variables. El coeficiente de determinación (R^2) entre el VO_2 medido y modelado fue 0.73 ±0.12. La suma de errores residuales ($<10^{-4}$) fue distribuida al azar alrededor de cero (Figura 1B) y de manera similar en los dos grupos. No fue encontrada ninguna regresión entre los errores residuales y el tiempo, indicando que el modelo era apropiado para describir la cinética del consumo de oxígeno y que no podría haber sido propuesta ninguna mejora en el modelo. Antes del entrenamiento, el grupo ES tenía una cinética del VO_2 más rápida con constantes de tiempo más pequeñas para la segunda y tercera fases, que el grupo E. Sin embargo, es de interés señalar que los tiempos constantes para la fase 2 permanecieron sin cambios durante el período de entrenamiento en los grupos ES y E. Además la amplitud del componente lento permaneció sin cambios en los dos grupos durante el período de entrenamiento.

Como se quería, la velocidad fue mantenida constante a través de la evaluación de 3000 m con un coeficiente de variación (CV) de 1.6 ±0.6 % entre las diferentes vueltas. No fueron observadas ningunas diferencias o cambios significativos en uno u otro grupo ES o E en la frecuencia (1.52 ±0.07 y 1.47 ±0.08 Hz en el preentrenamiento, y 1.53 ±0.08 y 1.52 ±0.05 Hz en el postentrenamiento para los grupos ES y E, respectivamente) o en la longitud (3.19 ±0.24 y 3.28 ±0.18 m en el preentrenamiento y 3.22 ±0.28 y 3.23 ±0.24 m en el postentrenamiento para los grupos ES y E, respectivamente) de la zancada durante los 3000 m a una $V_{\Delta 25\%}$. El método usado para aproximar la dureza muscular de carrera de las piernas condujo a una variabilidad ligeramente mayor en el tiempo de contacto (159 ±7 vs. 169 ±9; ES = 1.2 y CV entre mediciones = 5.4 % vs. 4.2 %, para los grupos ES y E, respectivamente) y así en la dureza muscular (CV entre mediciones = 7.3 ±1.9 vs. 6.0 ±1.9 %, para los grupos ES y E, respectivamente). Después del entrenamiento, el grupo ES tenía un dureza muscular de carrera de las piernas significativamente mayor (P<0.05) (643 ±59 vs. 575 ±58 N/m/kg; ES = 1.2) que el grupo E.

La Tabla 4 muestra los efectos del entrenamiento sobre el peso corporal, la fuerza máxima y las variables medidas durante las evaluaciones de saltabilidad. Antes del entrenamiento, la fuerza máxima, el tiempo de contacto, la potencia de salto y la dureza muscular en el salto no difirieron significativamente entre los grupos ES y E. Fueron encontradas interacciones significativas grupo-entrenamiento en la fuerza máxima (P<0.01) entre los grupos ES y E durante el período de entrenamiento; el grupo ES incrementó significativamente la fuerza máxima (P<0.05) como fue expresado por la evaluación de 1 RM en los ejercicios de media sentadilla y elevación de talones, mientras que los valores de fuerza no cambiaron el grupo E. Fueron encontradas interacciones significativas grupo-entrenamiento en la altura de salto (F = 8.83; P<0.05; ES = 0.60) y en la potencia de salto (F = 5.14; P<0.05; ES = 0.55) durante el período de entrenamiento. El grupo ES mantuvo la altura de salto sin cambios, mientras que el grupo E tuvo una disminución significativa (Tabla 4). La potencia de salto fue significativamente más baja después que antes del período de entrenamiento en el grupo E (2625 ±631 W y 2963 ±535 W, respectivamente; P<0.05; ES = 0.58) pero no en el grupo ES (3232 ±412 W y 3410 ± 720 W, respectivamente) (Figura 2C). Aunque la dureza muscular de salto (en N/m) y la potencia de salto (en W) estuvieron significativamente correlacionadas en el pre (r = 0.58; P<0.05) y postentrenamiento (r = 0.66; P<0.01) no fueron encontrados cambios o diferencias significativas en los grupos ES o E en el tiempo de contacto o la dureza muscular de salto, expresado en N/m o N/m/kg. Fue observada una correlación significativa (r = -0.55; P<0.05) entre el cambio de la $CR_{\Delta 25\%}$ y el cambio de potencia de salto durante el período de entrenamiento.

DISCUSIÓN

El presente estudio muestra que el entrenamiento de fuerza de alta intensidad adicional produce una influencia positiva sobre la economía de carrera de triatletas bien entrenados. Durante el período de entrenamiento, el cambio en la economía de carrera estuvo moderadamente correlacionado al cambio en la potencia de salto. Además, el entrenamiento de fuerza intenso no alteró la cinética del VO_2 en un ejercicio intenso a una velocidad constante.

Cambios en la Economía de Carrera

Los resultados del presente estudio concuerdan con estudios previos (13, 14, 23) que reportaron mejoras de la economía después de un entrenamiento combinado de fuerza + resistencia en atletas de resistencia, mientras que no se observó ningún cambio en los atletas que entrenaron solo la resistencia. Paavolainen et. al (23) demostraron que el rendimiento en una carrera de 5 km, la economía de carrera, y la "potencia muscular" de atletas bien entrenados se incrementaron luego de 9 semanas de entrenamiento de la fuerza explosiva, mientras que no fueron observados cambios en un grupo de control que entreno la resistencia. Sin embargo, el entrenamiento de la fuerza explosiva conduce a diferentes adaptaciones musculares que el entrenamiento clásico HWT usado en el presente estudio. Por ejemplo, un mayor incremento en la tasa de activación de unidades motoras (17) ha sido descrito como uno de los principales mecanismos para la mejora de las características neuromusculares relacionadas a un incremento (23) o no (22) de las características de rendimiento aeróbico.

Esta bien establecido que el entrenamiento de resistencia de larga duración y la maduración incrementan la economía de carrera en atletas no entrenados o sujetos sedentarios (8). Sin embargo, debido a que los atletas de resistencia bien entrenados tienen un menor margen de incremento de la capacidad aeróbica luego de varios años de entrenamiento (23), la ausencia de un incremento significativo en la economía de carrera en los dos grupos no es sorprendente. La interacción grupo-entrenamiento fue observada en la CR durante el período de entrenamiento sin ninguna interacción similar entre grupos en el VO_2 máx. o VT_2. En paralelo, fueron observadas interacciones similares grupo-entrenamiento en la fuerza máxima, y la potencia de salto. Estos resultados recalcan un efecto específico del entrenamiento de fuerza intenso y apoyan la posición de que los factores limitantes del rendimiento en resistencia en atletas bien entrenados pueden estar más fuertemente relacionados a factores locales/periféricos que a factores centrales (10, 20, 23). La importancia de la tan llamada "potencia muscular" definida como la habilidad del sistema neuromuscular de producir potencia a la intensidad de ejercicio más alta, cuando la contractilidad muscular puede estar limitada, es así enfatizada (23). Varios factores pueden ser propuestos para explicar el incremento de la economía de carrera luego del entrenamiento de la fuerza.

Para el mismo nivel de tensión muscular, las unidades motoras Tipo II son reclutadas preferentemente a frecuencias de ciclo más bajas, cuando la fuerza requerida en cada ciclo es más alta. Si la frecuencia de zancada permanece sin cambios, el incremento de la fuerza máxima se relaciona a una tensión pico relativa más baja en cada ciclo [e.g., desde 50 % a 35 % de la fuerza máxima (12)] y consecuentemente a una contribución incrementada de las fibras de contracción lenta. En el presente estudio, debido a que no fueron observadas diferencia en SF, antes y después del entrenamiento, uno puede argumentar que estas adaptaciones ocurrieron en el grupo ES y de este modo que las diferencias del cambio en la economía de carrera entre los dos grupos aún con la $V_{\Delta 25\%}$ reactualizada se debieron parcialmente a estos factores.

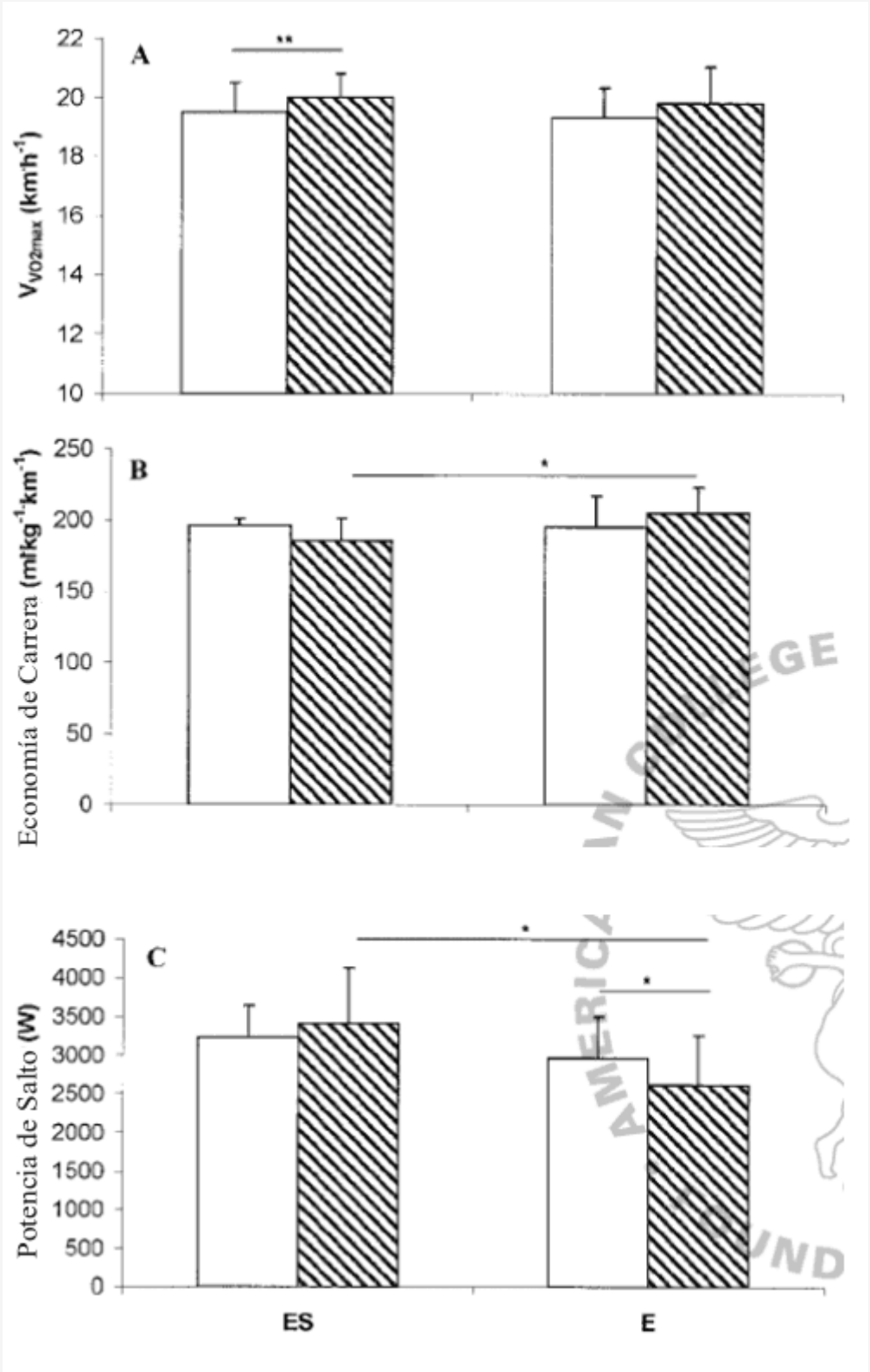


Figura 2. *Cambios en (A) la velocidad asociada con el VO_2 máx. (VO_2 máx., km/h); (B) economía de carrera (ml/kg/min); (C) máxima potencia de salto (W), entre los estados de pre- (barras blancas) y post-entrenamiento (barras negras) en el grupo entrenado en resistencia-fuerza (ES; n =7) y el grupo entrado solo en resistencia (E; n =8). * P<0.05; **P<0.01.*

Han sido reportadas correlaciones significativas entre la máxima potencia de salto y la máxima velocidad de carrera (r = 0.70; P<0.05) y la dureza muscular en el salto (r = 0.89; P<0.001) en velocistas jóvenes (7). En el presente estudio, fue también encontrada una correlación entre la dureza muscular de salto y la potencia de salto antes (*P*<0.05) y después

(P<0.01) del entrenamiento. Durante el período de entrenamiento, el grupo E mantuvo el mismo nivel de fuerza máxima, pero mostró una disminución significativa en la máxima potencia de salto y la altura de salto, mientras que el grupo ES incrementó la fuerza máxima y mantuvo la potencia de salto sin cambios. La correlación (r = 0.55; P<0.05) entre el cambio de la economía de carrera y el cambio de la potencia de salto durante el período de entrenamiento sugirió que la disminución de la potencia muscular del grupo E puede haber afectado su economía de carrera.

3000 m a velocidad constante										
	V Δ25% (km/h)	HR (ltm)	RPE (puntos)	BL (ml / min / kg)	td_1 (s)	φ_1 (s)	A_1 (ml / min / kg)	td_2	φ_2 (s)	A_2 (ml / min / kg)
ES (n =7)										
Preentrena-miento	17,4 ±0,9	181 ±11	14,7 ±1,1	11,2 ±5,8	8 ±7	13 ±6*	46,4 ±9,4	65 ±39	61 ±32*	6,7 ±4,3
Entrena-miento	17,6 ±0,8	185 ±11	14,9 ±0,9	12,0 ±5,5	6 ±7	15 ±6	44,2 ±9,9	83 ±43	84 ±76	5,1 ±3,7
E (n =8)										
Preentrena-miento	17,2 ±1,1	186 ±5	14,8 ±1,4	11,5 ±4,1	8 ±7	21 ±6	46,1 ±8,5	86 ±83	191 ±142	3,7 ±3,3
Entrena-miento	17,5 ±1,1	187 ±5	15,1 ±1,0	12,5 ±4,6	7 ±7	17 ±9	47,9 ±8,7	102 ±83	165 ±160	4,6 ±3,7

Tabla 3. *Parámetros medidos y calculados durante la evaluación de 3000 m a velocidad constante, antes y después del entrenamiento en los triatletas de fuerza-resistencia (ES) y resistencia sola (E).*
*Los valores son presentados como medias ± DS. V Δ25%: velocidad asociada con el Δ25% = VT2 + 0,25 x (VO_2 máx.-VT2); HR; frecuencia cardiaca al finalizar el ejercicio, RPE: escala de esfuerzo percibido; BL: punto de iniciación, td1 y td2: retraso de tiempo; T1 y T2; constantes de tiempo; A1 y A2, amplitud, de respectivamente, los componentes rápidos y lentos más importantes más importantes de la respuesta del VO_2 máx. *P<0.05 para las diferencias entre grupos.*

		Fuerza Máxima		Evaluaciones de Saltabilidad		
	Peso (kg)	1 RM Media Sentadilla (kg)	1 RM Elevación Talones (kg)	Tiempo de Contacto (ms)	Altura de Salto (m)	Dureza musculars (N/m/kg)
ES (n =7)						
Preentrenamiento	67,4 ±8,8	214 ±27	224 ±17	147 ±19	0,274 ±0,035	581 ±124
Mitad de Entrenamietno (semana 6)	67,5 ±8,7			144 ±18	0,269 ±0,025	601 ±128
Postentrenamiento (semana 14)	67,1 ±8,7	268 ±16* # # &	261 ±21 * # # &	143 ±10	0,283 ±0,043 * #	592 ±51
E (n =8)						
Preentrenamiento	65,0 ±7,4	200 ±28	197 ±24	159 ±23	0,273 ±0,031	506 ±115
Postentrenamiento (semana 14)	64,0 ±6,6	208 ±27	198 ±25	158 ±31	0,240 ±0,047 &	524 ±177

Tabla 4. *Peso corporal, fuerza máxima, y parámetros medidos y calculados durante los test de saltabilidad antes, a la mitad y después del entrenamiento en los triatletas entrenados en resistencia-fuerza (ES) y los triatletas entrenados solo en resistencia (E).*

*Los valores son presentados como medias ± DS. 1 RM: máximo peso en una repetición. * P<0.001 para diferencias entre grupos; # P<0.05; # # P<0.01 para diferencias entre grupos en los efectos del entrenamiento; & P<0.05 para las diferencias entre los estados pre y post entrenamiento.*

Sin embargo, no fueron registradas mediciones directas de la potencia durante los 3000 m a $V_{\Delta 25\%}$. Estos resultados sugieren que un gran volumen de entrenamiento de resistencia puede conducir a una disminución de las características neuromusculares, convirtiéndose de este modo en un factor limitante de la eficiencia de resistencia, aún en atletas de resistencia.

La alteración en la regulación del dureza muscular de las piernas y el almacenamiento y recobro de energía con la fatiga han sido propuestos como una causa de la disminución en la eficiencia y en la economía de los corredores (15). Ha sido reportada una correlación significativa entre la dureza muscular de la pierna dominante y la CR (7). En el presente estudio, no fueron observados cambios en el tiempo de contacto o la dureza muscular vertical en el salto. El tipo de fuerza realizada durante el período de entrenamiento (contracción concéntrica; > 90 % de 1RM) esta asociado con frecuencias de potencia media, cambio de EMG, o tasa de salida neural más bajos que los producidos mediante el entrenamiento de la fuerza explosiva (contracciones concéntricas y pliométricas, 40-50 % de 1RM), causado principalmente por una menor velocidad de movimiento (17, 23). De este modo, las características del entrenamiento de fuerza realizado en el presente estudio pueden no haber sido óptimas para incrementar la dureza muscular en un ejercicio con ciclo estiramiento-acortamiento máximo como un salto, aún si el mismo causa un incremento significativo en la fuerza concéntrica y la potencia. No obstante, la dureza muscular en la carrera estimada fue más alta después del entrenamiento en el grupo ES que en el E, lo que significa que pueden haber ocurrido algunas adaptaciones.

Cambios en la Fuerza Máxima

Las ganancias en la fuerza máxima del grupo ES (25% en media sentadilla y 17 % en elevación talones) fueron similares al incremento mostrado en estudios anteriores [i.e., 14.5 % en una evaluación ergométrica de ski (13), 19.5 % en la prensa de piernas (16), 27 % en sentadilla paralela (11), y 33.8% en levantamiento con los miembros inferiores (14)], mientras que el grupo E no exhibió cambios en la fuerza, como resultado de la falta de entrenamiento de la fuerza. Y el hecho de que ellos realizaron entrenamiento de resistencia de baja intensidad (i.e., bajo porcentaje de la fuerza máxima voluntaria) durante el período estudiado. Es de interés observar que el peso corporal no cambió en los grupos ES y E, sugiriendo que fue causada poca (si no es que ninguna) hipertrofia muscular por el entrenamiento de la fuerza en el grupo ES. El HWT contribuyó a las ganancias de fuerza principalmente por dos tipos de factores, principalmente factores neurales (incrementos de la activación, reclutamiento más eficiente, sincronización de las unidades motoras, y excitabilidad de las motoneuronas α o disminución de la inhibición de los órganos tendinosos de Golgi) en la fase temprana e hipertrofia en una período más largo. Sin embargo, después de 2-6 semanas, ha sido observada una hipertrofia de las fibras musculares Tipo IIa y IIb, pero también de las Tipo I (26). Además, fue reportado que la conversión de las fibras rápidas (desde IIb a IIa) ocurre como un efecto de entrenamiento combinado (16, 26). La disminución en el porcentaje de fibras Tipo IIb y el incremento concomitante de las fibras IIa puede conducir a un incremento de la capacidad oxidativa de los músculos entrenados. Además, Sale et. al (25) demostraron que el incremento de la de actividad de las principales enzimas oxidativas (i.e., citrato sintetasa) y del porcentaje de fibras de contracción lenta en los músculos entrenados fue similar en los grupos de resistencia sola y en los grupos de resistencia-fuerza. Estos resultados sugieren que, aún a través de un período largo, la capacidad oxidativa de los músculos del tren inferior no está afectada por la inclusión del entrenamiento del la fuerza dentro del entrenamiento de resistencia, apoyando el concepto de un posible “efecto aditivo”del entrenamiento de fuerza y resistencia. El entrenamiento combinado podría también causar un “efecto comprometedor” al nivel celular para las capacidades de resistencia y fuerza, atenuando estas adaptaciones (16). Por ejemplo, Kraemer et. al (16) no reportaron cambios en las fibras Tipo I y IIc, después de 12 semanas de un programa de entrenamiento combinado, lo cual puede haber estado relacionado a un estado de sobreentrenamiento como fue demostrado por el incremento indeseable en el cortisol.

Cambios en la $V_{VO2\ máx}$

El grupo ES tubo una mejora del 2.7 % en la $V_{VO2\ máx}$, mientras que el cambio de 2.2 % no fue significativo en el grupo E. Sin embargo, debido a que la interacción grupo x tiempo no fue significativa, esta diferencia no puede ser atribuida a las diferencias de entrenamiento entre los grupos. Para un poder estadístico de 0.8 y una diferencia en la $V_{VO2\ máx}$ de 0.49 ±0.66 km/h, el tamaño del grupo E debería haber sido de 17 sujetos para alcanzar el nivel de significancia de $\alpha = 0.05$. Además, en el presente estudio, la correlación entre el cambio en la $V_{VO2\ máx}$ y el cambio en al CR, con los dos grupos juntos fue débil ($r = -0.46$, $P = 0.09$), indicando que los cambios en la CR no explicarían en una gran extensión los cambios en la velocidad de carrera al VO_2 máx.

Cinética del VO_2 sin cambios

La mayoría de los estudios anteriores que investigaron los efectos del entrenamiento sobre la cinética del VO_2 usaron un intervalo de tiempo fijo (6, 28, 29) y no un modelo matemático (5). Bearden y Hoffatt (2) demostraron que el uso de un intervalo fijo conduce a una subestimación del componente lento. En el presente estudio, un intervalo fijo de 3 a 10 min hubiera resultado en una amplitud significativamente diferente del componente lento que con el modelo de dos componentes exponenciales. Con el intervalo fijo, la amplitud fue significativamente (P<0.05) subestimada (1.5 ±1.5 vs. 6.7 ±4.3; 1.6 ±2.6 vs. 5.1 ±3.7; 1.4 ±3.0 vs. 3.7 ±3.3; 1.2 ±1.7 vs. 4.6 ±3.7, respectivamente, para los grupos ES y E en el pre y postentrenamiento) cuando se comparó con el modelo exponencial finalmente elegido. Aunque el interés obvio de entender mejor si el entrenamiento de fuerza adicional, dentro de un régimen de entrenamiento de resistencia, podría causar diferentes cambios en la cinética del VO_2, en el mejor de nuestros conocimientos, solo un estudio (29) ha investigado el efecto del entrenamiento de la fuerza sobre la cinética del VO_2. En el presente estudio, 14 semanas de entrenamiento no cambiaron la cinética del VO_2 ni en el grupo ES ni en el E. Los resultados del presente estudio no demostraron cambios durante el período de entrenamiento en el grupo ES o E en td_1, T_1, A_1, td_2, T_2 o A_2, y coinciden con el estudio de Womarck et. al (29). Uno podría asumir que las adaptaciones musculares inducidas por el HWT adicional no fueron suficientemente pronunciadas para causar cambios en la cinética del VO_2 cuando se lo compara con el entrenamiento de resistencia. Sin embargo, en los dos grupos juntos, el entrenamiento causo un incremento en las velocidades (P<0.01) sin ningún cambio en el VO_2 máx. o VT_2 asociados, lo que significa que la mayoría de las adaptaciones inducidas estaban localizadas al nivel muscular.

La aceleración de los ajustes del VO_2 al comienzo del ejercicio intenso después del entrenamiento de resistencia fue comúnmente reportada en estudios anteriores (21, 24) pero no en todos (5). El presente estudio no confirma que aún en atletas bien entrenados el entrenamiento induce constantes de tiempo más rápidas de la primera fase. Carter et. al (5) no reportaron efectos de entrenamiento de la fase 2 durante el ejercicio intenso en sujetos sanos (VO_2 máx. preentrenamiento = 55 ± 2 ml/kg/min), pero una disminución significativa de la constante de tiempo de al fase 2 (T_2) en los sujetos con menor forma física (VO_2 máx. = 40 ±1 ml/kg/min). En el presente estudio, los siete sujetos con el VO_2 máx. más bajo (= 60 ±1 ml/kg/min) tuvieron una disminución de T_2 desde 21 a 14 s que no alcanzó significancia estadística (P =0.16).

Similarmente, no fueron observados cambios durante el período de entrenamiento en los grupos E y ES en la amplitud del componente lento. Estos resultados parecen contrastar con estudios anteriores (5, 6, 10, 28) lo cual demuestra que 6-8 semanas de entrenamiento de resistencia conducen a una reducción significativa de la amplitud del componente lento en sujetos sanos. Sin embargo, en varios estudios (6, 28) la intensidad de ejercicio no fue recalculada, y debido a que LT y VO_2 máx. pueden haberse incrementado después del entrenamiento, la intensidad relativa postentrenamiento puede haber cambiado, aún debajo del VT_2 recalculado (6). Debido a que la intensidad de ejercicio es uno de los factores principales que influencian la amplitud del VO_2, los resultados de estos estudios son difíciles de interpretar. Además, Carter et. al (5) demostraron una disminución significativa de la amplitud del componente lento a las mismas velocidades absolutas pre y postentrenamiento, pero no cuando fue usada la “nueva” intensidad relativa postentrenamiento, la que coincide con los presentes resultados. En efecto, en los dos grupos juntos, el incremento de la $V_{\Delta 25\%}$ absoluta (P<0.01) no fue acompañado por un incremento de la amplitud del componente lento. Gaesser y Poole (10) sugirieron que el entrenamiento de resistencia ocasiona un cambio en el patrón de reclutamiento de unidades motoras, con un menor reclutamiento de fibras rápidas después del entrenamiento. Debido al índice ADP/O 18 % menor en las mitocondrias Tipo IIb, en comparación con las Tipo I (2, 7), el mismo conduciría a una disminución de la amplitud del componente lento después del entrenamiento. Además, fue reportada una correlación entre la actividad del EMG (i.e., frecuencia media) y el aumento de VO_2 durante la fase de componente lento (3), sugiriendo que las unidades motoras de las fibras rápidas son progresivamente reclutadas para compensar la disminución de la potencia causada por las unidades motoras fatigadas. Es de interés señalar que la mayor parte de los cambios de la cinética del VO_2, sino todos, ocurrieron muy temprano, en las primeras 2 semanas, y que no fueron observados cambios en la parte siguiente del período de entrenamiento (28).

Para entender como el tipo de entrenamiento podría causar adaptaciones musculares conduciendo a cambios en la cinética del VO_2, son requeridas futuras investigaciones con atletas emparejados aeróbicamente, que realicen distintos tipos de entrenamientos (i.e., fuerza intenso solo vs. resistencia solo), lo cual podría conducir a adaptaciones bioquímicas e histológicas más pronunciadas en los músculos entrenados.

En conclusión, la adición de HWT al entrenamiento de resistencia de triatletas bien entrenados estuvo asociada con incrementos significativos en el rendimiento de carrera (i.e., $V_{VO2\ máx}$,) y con un incremento de la economía de carrera, probablemente determinados por un incremento en la regulación de la dureza muscular de los miembros inferiores, como resultado de los entrenamientos de fuerza y resistencia concurrentes. La hipótesis debe ser evaluada más directamente en otros estudios. Un mecanismo alternativo podría recaer en el incremento de la potencia máxima de los miembros inferiores. En contraste con estudios anteriores conducidos con atletas recreacionales, ni el grupo resistencia ni el grupo resistencia + fuerza cambiaron la cinética del VO_2 entre el pre y postentrenamietno durante el ejercicio intenso, donde las

intensidades relativas fueron dejadas iguales. Debido a que el HWT adicional conduce a una fuerza máxima y economía de carrera incrementadas, sin ningún efecto significativo sobre el patrón de cinética del VO_2 en el ejercicio intenso de intensidad constante, esta recomendada su inclusión en un programa de entrenamiento para atletas de resistencia bien entrenados.

Agradecimientos: Los autores agradecen a D. Delignieres de la Universidad de Montpellier por sus consejos estadísticos, D. J. Bentley, Universidad de Bath, y R. Hunt, Instituto Deportivo de Hong-Kong, por su revisión del manuscrito.

Dirección para Correspondencia: Millet Gregoire, Faculte des Sciences du Sport, Univesite de Montpellier 1, 700 Av. Pic. Saint Loup, 34090 Montpellier, France ; correo electrónico : g.millet@staps.univ-montp1.fr

REFERENCIAS

1. Barstow, T. J., and P. A. Mole (1991). Linear and nonlinear characteristics of oxygen uptake kinetics during heavy exercise. *J Appl Physiol; 71: 2099□2106*
2. Bearden, S. E., and R. J. Moffatt (2001). Vÿ O2 slow component: to model or not to model?. *Med Sci Sports Exerc; 33: 677□680*
3. Borrani, F., R. Candau, G. Y. Millet, S. Perrey, J. Fuchslocher, and J. D. Rouillon (2001). Is the VO2 slow component dependent on progressive recruitment of fast-twitch fibers in trained runners?. *J Appl Physiol; 90: 2212□2220*
4. Bosco, C., G.Montanari, R. Ribacchi, et al (1987). Relationship between the efficiency of muscular work during jumping and the energetics of running. *Eur J Appl Physiol; 56: 138□143*
5. Carter, H., A. M. Jones, T. J. Barstow, M. Burnley, C. Williams,And J. H. Doust (2000). Effect of endurance training on oxygen uptake kinetics during treadmill running. *J Appl Physiol; 89: 1744□1752*
6. Casaburi, R., T.W. Storer, I. Ben-Dov, And K. Wasserman (1987). Effect of endurance training on possible determinants of VO2 during heavy exercise. *J Appl Physiol; 62: 199□207*
7. Chelly, S. M., and C. Denis (2001). Leg power and hopping dureza musculars: relationship with sprint running performance. *Med Sci Sports Exerc; 33: 326□333*
8. Conley, D. L., and G. S. Krahenbuhl (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports Exerc; 12: 357□360*
9. Di Prampero, P. E., C. Capelli, P. Pagliaro, et al (1993). Energetics of best performances in middle-distance running. *J Appl Physiol; 74: 2318□2324*
10. Gaesser, G. A., and D. C. Poole (1996). The slow component of oxygen uptake kinetics in humans. *Exerc Sport Sci Rev; 24: 35□70*
11. Hickson, R. C., M. A. Rosenkoetter, and M. M. Brown (1980). Strength training effects on aerobic power and short-term endurance. *Med Sci Sports Exerc; 12: 336□339*
12. Hickson, R. C., B. A. Dvorak, E. M. Gorostiaga, T. T. Kurowski, And C. Foster (1988). Potential for strength and endurance training to amplify endurance performance. *J Appl Physiol; 65: 2285□2290*
13. Hoff, J., J. Helgerud, And U. Wisloff (1999). Maximal strength training improves work economy in trained female cross-country skiers. *Med Sci Sports Exerc; 31: 870□877*
14. Johnston, R. E., T. J. Quinn, R. Kertzer, and N. B. Vroman (1997). Strength training in female distance runners - Impact on running economy. *J Strength Cond Res; 11: 224□229*
15. Komi, P. V (2000). Stretch-shortening cycle: a powerful model to study normal and fatigued muscle. *J Biomech; 33: 1197□1206. 1358 Official Journal of the American College of Sports Medicine; http://www.acsm-msse.org*
16. Kraemer, W. J., J. F. Patton, S. E. Gordon, et al (1995). Compatibility of high-intensity strength and endurance training on hormonal and skeletal muscle adaptations. *J Appl Physiol; 78: 976□989*
17. Linnamo, V., R. U. Newton, K. Hakkinen, et al (2000). Neuromuscular responses to explosive and heavy resistance loading. *J Electromyogr Kinesiol; 10: 417□424*
18. Marcinik, E. J., J. Potts, G. Schlabach, S. Will, P. Dawson, and B. F. Hurley (1991). Effects of strength training on lactate threshold and endurance performance. *Med Sci Sports Exerc; 23: 739□743*
19. Mccarthy, J. P., J. C. Agre, B. K. Graf, M. A. Pozniac, and A. C.Vailas (1995). Compatibility of adaptive responses with combining strength and endurance training. *Med Sci Sports Exerc; 27: 429□436*
20. Noakes, T. D (1988). Implications of exercise testing for prediction of athletic performance: a contemporary perspective. *Med Sci Sports Exerc; 20: 319□330*
21. Norris, S. R., And S. R. Petersen (1998). Effects of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *J Sports Sci; 16: 733□738*
22. Paavolainen, L., K. Hakkinen, and H. Rusko (1991). Effects of explosive type strength training on physical performance characteristics in cross-country skiers. *Eur. J Appl Physiol; 62: 251□255*
23. Paavolainen, L., K. Hakkinen, I. Hamalainen, A. Nummela, Andh. Rusko (1999). Explosive-strength training improves 5-km running time by improving running economy and muscle power. *J Appl Physiol; 86: 1527□1533*
24. Phillips, S. M., H. J. Green, M. J. Macdonald, And R. L. Hughson (1995). Progressive effect of endurance training on VO2 kinetics at the onset of submaximal exercise. *J Appl Physiol; 79: 1914□1920*
25. Sale, D. G., J. D. Mcdougall, I. Jacobs, and S. Garner (1990). Interactionbetween concurrent strength and endurance training. *J Appl Physiol; 68: 260□270*

26. Staron, R. S., M. J. Leonardi, D. L. Karapondo, et al (1991). Strength and skeletal muscle adaptations in heavy-resistance-trained women after detraining and retraining. *J Appl Physiol; 70: 631□640*
27. Willis, W. T., And M. R. Jackman (1994). Mitochondrial function during heavy exercise. *Med Sci Sports Exerc; 26: 1347□1353*
28. Womack, C. J., S. E. Davis, J. L. Blumer, E. Barrett, A. L.Weltman, And G. A. Gaesser (1995). Slow component of O2 uptake during heavy exercise: adaptation to endurance training. *J Appl Physiol; 79: 838□845*
29. Womack, C., J. Flohr, A. Weltman, and G. Gaesser (2000). The effects of a short-term training program on the slow component of VO2. *J Strength Cond Res 14:50□53*

Cita Original

Gregoire P. Millet, Bernard Jaouen, Fabio Borrani, and Robin Candau. Effects of concurrent endurance and strength training on running economy and VO2 kinetics. Med Sci Sports Exerc; Vol. 34, No. 8, pp. 1351-1359, 2002.