

Monograph

Cambios en la Economía de la Carrera, Rendimiento, VO_2 máx., y Nivel de Lesiones en Corredores de Larga Distancia Durante una Temporada Competitiva

Todd A Astorino

Department of Kinesiology/ CSU—San Marcos, MH 352/ 333 S. Twin Oaks Valley Rd, San Marcos/ CA, Estados Unidos.

RESUMEN

El consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx.), la economía de la carrera (RE), y el umbral ventilatorio son tres de un grupo de factores que determinan el rendimiento en la carrera de larga distancia. El presente estudio fue abordado para realizar múltiples valoraciones del rendimiento de la carrera en corredores universitarios. Participaron en este estudio quince varones y mujeres (edad media y VO_2 máx.=19,6±1,5 años y 61,8±8,8 mL.kg⁻¹.min⁻¹, respectivamente) que compiten en *cross-country* o campo a través en la división NAIA. Se valoraron la composición corporal, RE, y VO_2 máx./ umbral ventilatorio, en una sola sesión realizada en la pretemporada, y estas mediciones fueron repetidas dos veces durante la temporada. Durante el ejercicio, se obtuvieron datos de frecuencia cardíaca (FC) e intercambio gaseoso. El valor de referencia de VO_2 máx. fue igual a 53,7±2,6 mL.kg⁻¹.min⁻¹, y 69,1±3,6 mL.kg⁻¹.min⁻¹, en las mujeres y varones, respectivamente. A velocidades que van desde 6,0-7,7 mph (9,6-12,4 km.h⁻¹), la RE en mujeres va desde 29,9-39,7 mL.kg⁻¹.min⁻¹; mientras que en varones, el RE fue igual a 37,8-46,1 mL.kg⁻¹.min⁻¹ a velocidades desde 7,5-9,2 mph (12,1-14,8 km.h⁻¹). Con el entrenamiento, solo tres de los nueve sujetos revelaron un aumento significativo en el RE, y el VO_2 máx. no tuvo alteraciones. En la condición inicial, hubo una correlación significativa entre el RE a la velocidad más alta y el VO_2 máx. ($r=0,69$, $p<0,01$) y el tiempo de carrera ($r=0,62$, $p<0,05$). Ocurrieron lesiones incluyendo síndrome de estrés de la tibia medial, esguince de tobillo, fracturas por estrés, y tirón de ingle, en casi el 50% de los atletas durante la temporada, lo cual condujo a reducciones en los entrenamientos y pérdida de competencias. Estos datos indican que se observó: 1) una relación positiva significativa entre RE y tanto VO_2 máx. como rendimiento, 2) pequeños cambios en la RE o VO_2 máx. con el entrenamiento, aún mejorado el rendimiento, y 3) alta incidencia en lesiones en atletas de larga distancia.

Palabras Clave: rendimiento en las carreras de larga distancia, VO_2 máx, regresión, umbral ventilatorio

INTRODUCCION

A través del entrenamiento crónico de resistencia se obtienen diversas adaptaciones fisiológicas que incluyen el aumento de la masa mitocondrial, y el control de la glucosa sanguínea (1), volumen sistólico y volumen minuto cardíaco (2), y

reducción de la presión arterial y frecuencia cardíaca submáxima (3).

Sin embargo, la mayor preocupación de los atletas competitivos es cómo terminan en la competición y no la verdadera magnitud de estas adaptaciones. Así, el entrenamiento adecuado es decisivo para mejorar la tolerancia al ejercicio de alta intensidad y optimizar el rendimiento competitivo.

Las adaptaciones adicionales observadas con el entrenamiento crónico de resistencia incluyen incrementos en el máximo consumo de oxígeno (VO_2 máx.) y en la economía de la carrera (RE). Con el entrenamiento crónico, han sido encontrados incrementos en el VO_2 máx. de 12% en individuos jóvenes desentrenados (4) y por arriba del 57% en pacientes cardíacos (5). Sin embargo, los cambios observados en atletas de larga distancia competitivos (4, 6) son menores (0-10%), dependiendo de la intensidad del programa de entrenamiento. En corredores varones y mujeres de élite (6), el VO_2 máx. no tuvo cambios después de tres años de entrenamiento, aunque el rendimiento mejoró. En un corredor masculino de élite (7), el VO_2 máx. aumentó en un 20% en 2 años de entrenamiento riguroso, aunque esto estuvo acompañado por una pequeña mejora [2% a 10 mph (16,1 km.h⁻¹)] en la RE.

Los aumentos en de la RE se han sido demostrados en otra investigación. En un corredor de élite de 31 años (8), el RE se incrementó en 9-16% a 9 (14,5 km.h-1), 10 (16,1 km.h-1), y 11 (17,7 km.h-1) mph después de 18 semanas de entrenamiento intervalado y de resistencia. En cambio, la RE aumentó solo un 5% durante un período de 9 meses de descanso, entrenamiento y competencia en un corredor de élite (9). Slawinski y col. (10) hallaron un aumento significativo en la RE (4%) con 8 semanas de entrenamiento supraumbral en corredores entrenados (VO_2 máx.=61,2±6,0 mL.kg⁻¹.min⁻¹). Sin embargo, muchos autores (4, 11) no reportaron incrementos en la RE inducidos por el entrenamiento. Supervisar la economía de la carrera es importante, considerando que en un grupo de corredores similarmente entrenados, el RE puede ser la variable más importante para estimar el éxito en la carrera (12).

Además, solo un pequeño cambio en el VO_2 submáximo (~ 2%) puede ser necesario para alterar la economía de la carrera (13). Debido a la naturaleza equívoca de estos resultados, es necesario el estudio adicional de los cambios en la RE en atletas que realicen entrenamientos y competiciones

Los parámetros de predicción del rendimiento en la carrera varían a través de los estudios. Foster y col. (14) reportaron una baja correlación ($r=0,36$, $p<0,05$) entre la RE y el rendimiento en la maratón; mientras que fue encontrada una fuerte correlación ($r=0,60$, $p<0,05$) (15) en 18 corredores experimentados que competían en una carrera de 9,7 km. En corredores experimentados que compiten en distancias de entre 4,7-10 millas (7,6-16,1 km), las asociaciones entre VO_2 máx. y rendimiento en la carrera van desde 0,07 (16), a 0,12 (17), 0,82 (18), y 0,91 (11), aunque el VO_2 máx. de los sujetos en estos estudios fue ampliamente discrepante (55-82 mL.kg⁻¹.min⁻¹). Es plausible que comparaciones como estas no deberían hacerse entre estudios en los cuales el nivel de entrenamiento de los sujetos así como la distancia completada y el *timing* exacto de las mediciones son distintos.

Por consiguiente, el principal objetivo de este estudio fue controlar los cambios en el VO_2 máx., el rendimiento en la carrera de *cross-country*, la RE, y otros índices físicos durante una competencia de *cross-country* y la temporada de atletismo en atletas de resistencia. Los atletas continuaron con sus regímenes de entrenamiento establecidos por sus entrenadores, y su progreso fue evaluado. Las correlaciones del rendimiento en la carrera también fueron estudiadas. Los hallazgos obtenidos en este estudio pueden ser dirigidos a los entrenadores de pista y otros practicantes en diversos escenarios. Se presume que la economía de la carrera, pero no el VO_2 máx., puede ser mejorado con el entrenamiento.

METODOS

Enfoque del Problema

Los sujetos fueron evaluados en la pretemporada, al final de la temporada de *cross country*, y en la mitad de la temporada de pista cuando estaban en el pico de condición física en la preparación para el campeonato NAIA. Las variables dependientes medidas en este estudio incluyeron economía de la carrera (RE), VO_2 máx., umbral ventilatorio (VT), rendimiento en la carrera a partir de los tiempos logrados, y porcentaje de grasa corporal (%BF). Las evaluaciones fueron realizadas en idéntica forma en la pretemporada y al final de la temporada de *cross country*, sin embargo solo la RE fue valorada durante la temporada de pista, debido a la notable fatiga y al principio de lesión que impedía que los corredores completaran la valoración del VO_2 máx. A través de todas las pruebas físicas, las mediciones fueron llevadas a cabo a la misma hora del día, y se dio instrucción a los sujetos para que usaran el mismo calzado.

Sujetos

Quince atletas de larga distancia (ocho varones y siete mujeres) fueron inicialmente reclutados en la pretemporada. La edad media, talla, peso, %BF, y años de entrenamiento fueron $19,6 \pm 1,5$ años, $1,7 \pm 0,8$ m, $59,9 \pm 7,1$ kg, $13,2 \pm 7,8$ % BF, y $6,2 \pm 1,0$ años, respectivamente. El VO_2 máx. medio y el rendimiento en la carrera de 8 y 5 km de los varones y mujeres fue $69,10 \pm 3,60$ (intervalo= $64,0-72,2$ mL/kg/min) y $53,7 \pm 2,6$ mL.kg⁻¹.min⁻¹ (intervalo= $50,0-57,0$ mL.kg⁻¹.min⁻¹), y $27,7 \pm 1,2$ min ($25,6-28,9$ min) y $20,2 \pm 1,1$ min ($18,5-21,1$ min), respectivamente. Los atletas competían en distancias que iban desde los 400 m hasta la maratón. Inicialmente, los atletas completaron un cuestionario de historia clínica y dieron un consentimiento por escrito. Todos los procedimientos fueron aprobados por el comité evaluador Institucional de la Universidad. Debido a la fatiga, enfermedad o lesión, solo nueve y dos atletas volvieron para las mediciones al final de la temporada de *cross country* y mitad de temporada de pista, respectivamente.

Procedimientos

Antes de la prueba, los sujetos se abstuvieron de realizar ejercicio agotador y de ingerir cafeína en las 24 horas previas. Se les pidió a los sujetos seguir la misma dieta las 24 horas antes de cada visita. Además, todos los sujetos completaron 60 min de adaptación a la cinta rodante, según lo recomendado previamente (19) para estandarizar VO_2 submáximo medido durante la carrera en cinta rodante.

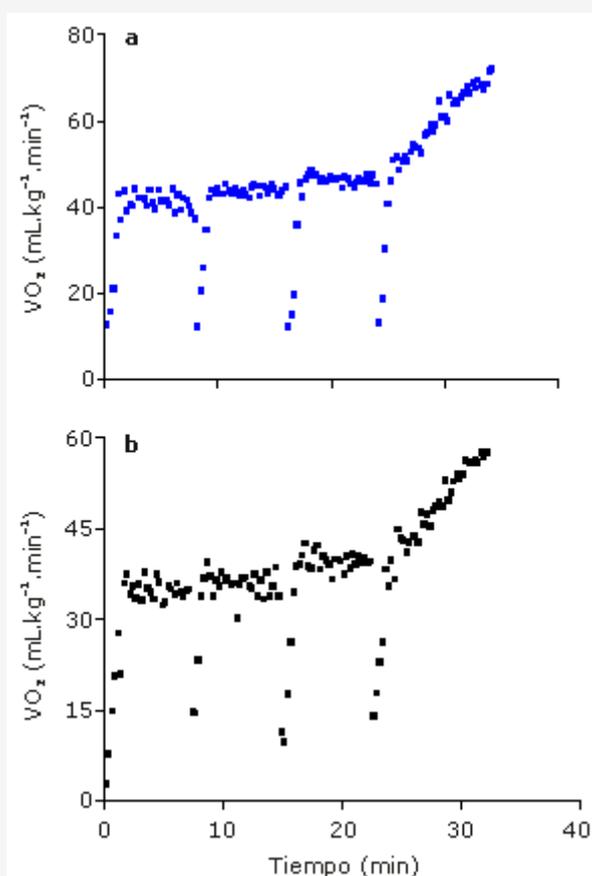


Figura 1. Respuesta del VO_2 al ejercicio en sujetos entrenados en resistencia: a) varones y b) mujeres.

Los sujetos se presentaron en el laboratorio en pantalón corto y remera, y registraron su talla y peso.

La composición corporal fue medida con calibres de metal (Lange, Cambridge, MD) usando el modelo de sumatoria de tres pliegues (20, 21). La grasa subcutánea en pecho, abdomen, y muslo (hombres) y tríceps, muslo, y suprailíaco (mujeres) se obtuvo a partir de la medición de pliegues cutáneos por técnicos experimentados, siguiendo un orden rotativo, de acuerdo a las técnicas establecidas (22).

Luego, los sujetos comenzaron el protocolo RE, que consistía de tres series de 8 minutos de velocidad progresiva en una cinta rodante a motor (*Stairmaster ClubTrack 612 Plus*, Vancouver, WA). Cada serie fue separada con 5 min de

recuperación pasiva. La velocidad fue preseleccionada (intervalos de velocidad de 7,5 (12,1 km.h⁻¹) a 9,2 (14,8 km.h⁻¹) mph para los hombres y 6,0 (9,6 km.h⁻¹) a 7,7 (12,4 km.h⁻¹) mph para las mujeres y estuvo caracterizada por un estado estable de la FC y una tasa de intercambio respiratorio de menos de 1,0. Estas velocidades fueron mantenidas en las mediciones subsiguientes a lo largo de la temporada. La economía de la carrera (RE) fue identificada como el VO₂ promedio (en mL.kg⁻¹.min⁻¹) para los minutos 6-8 de cada serie. Después de la tercera serie, los sujetos iniciaron el ejercicio incremental en cinta rodante a velocidad constante, en el que el ángulo de inclinación se incrementó en un 1% cada minuto. Se estimuló a los sujetos a continuar el ejercicio hasta la fatiga volitiva, y el VO₂ máx. se confirmó usando un criterio establecido (23). El valor más alto de VO₂ sostenido durante 15 segundos observado en la fatiga volitiva representó el VO₂ máx. En la Figura 1 se muestran los datos de este protocolo de un hombre y una mujer de 20 años.

Valoración de la Frecuencia Cardíaca y del Intercambio Gaseoso

La frecuencia cardíaca (FC) se evaluó durante el ejercicio por medio de telemetría (Polar Electro, Woodbury, NY). Durante el ejercicio, los sujetos usaron una agarradera para la cabeza, clips nasales, y respiraron a través de una válvula Daniels de tres vías. Se obtuvieron datos del intercambio gaseoso cada 15 segundos durante el ejercicio utilizando un dispositivo conectado a una computadora personal (ParvoMedics True One™, Sandy, UT). El volumen espirado se midió usando un medidor de flujo pneumotach Hans Rudolph y luego fue integrado. El consumo de oxígeno y la producción de dióxido de carbono (VCO₂) fueron medidos usando un analizador de oxígeno paramagnético Servomex y un analizador de CO₂ infrarrojo, respectivamente. Antes del ejercicio, el dispositivo fue calibrado para la concentración conocida de gases (16 %O₂ y 4 %CO₂) y también para el aire de la sala (20,93 %O₂ y 0,03 %CO₂). Además, se usó una jeringa de 3 litros para calibrar el flujo. El trabajo piloto reveló una correlación test-re-test y un error en la RE en sujetos entrenados de 0,93 y 2,0 %, respectivamente, y una variabilidad del VO₂ máx. día a día de 3,2 %. El umbral ventilatorio (VT) fue expresado en latidos.min⁻¹ (para ser usado por los atletas en los entrenamientos) y fue identificado como la FC coincidente con un aumento no lineal de la ventilación y del VCO₂, según los métodos anteriores (24).

Entrenamiento

Todos los sujetos completaron programas de entrenamiento idénticos. El entrenamiento de *cross country* consistió en cuatro días semanales de carreras de larga distancia "tempo" (1 min por debajo de la velocidad umbral) además de dos días semanales de entrenamiento intervalado a la velocidad umbral. La distancia en millas progresó semanalmente desde 40 a 48 (64,4 a 77,2 km) (en las mujeres) y de 58 a 70 millas (93,3-112,6 km) semanales (en los hombres) al final de la temporada.

Los sujetos también compitieron en más de siete encuentros además del campeonato de cierre de temporada. Inicialmente durante la temporada de pista, se completaron dos sesiones semanales de carreras a velocidad umbral [6-8 millas (9,6-12,9 km)] y una a dos carreras de larga distancia [12 a 16 millas (19,3-25,7 km)] junto con la competencia de fin de semana y la carrera de recuperación del día siguiente. A mitad de temporada, el entrenamiento se modificó para incluir una carrera umbral, cuestas (15 a 20 repeticiones de 300 m), dos carreras de larga distancia y la competencia de fin de semana. El entrenamiento en el último mes de la temporada consistió en dos sesiones semanales específicas, la competencia del sábado, y una carrera de larga distancia [12-16 millas (19,3-25,7 km)] realizada los domingos. El millaje semanal fue de aproximadamente 60 millas (96,5 km) para las mujeres y 75 (120,7 km) a 80 (128,7) millas para los varones. A medida que se aproximaba el campeonato nacional, el volumen de las sesiones diarias y el millaje semanal se fue reduciendo.

Incidencia de Lesiones

El jefe de entrenadores le proveyó al investigador principal los registros de entrenamiento dando parte de la finalización de la semana de entrenamiento, así como la ocurrencia de lesión en los corredores. Además, fueron señalados los casos en que se perdieron entrenamientos o competencias.

Análisis Estadísticos

Los datos fueron expresados como media±desvío estándar (DS) y analizados usando el programa SSPS versión 14.0 (Chicago, IL). Se utilizó el test ANOVA de una vía con mediciones repetidas para detectar diferencias en el VO₂ máx., rendimiento en la carrera, % BF, y VT durante la temporada. Se utilizó la prueba t para datos de a pares (en mujeres) y la prueba no paramétrica de Friedman (en varones), para estudiar las diferencias en la economía de la carrera a lo largo de la temporada. Se utilizó correlación de datos de a pares y regresión lineal para identificar las variables de predicción de la economía de la carrera. La significancia estadística fue establecida a un nivel p<0.05.

RESULTADOS

Teniendo en cuenta que uno de los objetivos principales de este estudio fue diseminar los datos a los atletas, los datos se informaron tanto individualmente como expresados como media.

Cambio en la Economía de la Carrera

En las mujeres, la economía de la carrera no se diferenció desde la pretemporada a la temporada, a cualquier velocidad, aunque fuera apreciablemente más baja (1-2 %) (Tabla 1). Dos mujeres revelaron aumentos significativos en la RE (sujetos A y M), definido como una reducción de al menos 2% en el VO_2 máx., durante las sesiones submáximas. Durante la temporada, la RE no fue diferente ($p>0.05$) en los hombres (Tabla 1), aunque un varón (sujeto T) demostró aumentos significativos (5 %) en la RE en respuesta al entrenamiento. Dos varones también completaron la prueba de economía de la carrera antes del campeonato nacional (al final de la temporada), mostrando, sin embargo, un pequeño cambio en la RE tanto para E (39,20; 41,50; 44,74 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$) como para S (45,60; 45,70; 47,20 $mL.kg^{-1}.min^{-1}$) respecto a sus valores anteriores.

Cambios en el VO_2 máx. y el Umbral Ventilatorio (VT)

Entre todos los sujetos, no hubo cambios ($p=0,26$) en el VO_2 máx. desde el período de pre-temporada ($60,67\pm 8,49$ $mL.kg^{-1}.min^{-1}$) hasta el de temporada ($61,39\pm 7,28$ $mL.kg^{-1}.min^{-1}$). Se encontró una tendencia a la reducción del VO_2 máx. en los hombres (desde $69,67\pm 3,39$ $mL.kg^{-1}.min^{-1}$ hasta $67,10\pm 2,0$ $mL.kg^{-1}.min^{-1}$), aunque la misma no pudo alcanzar la significancia ($p=0,14$). En solo uno de seis varones, el VO_2 máx. fue más elevado durante la temporada en comparación a la pretemporada. En los varones, el VT no presentó cambios ($p>0.05$) durante la temporada, si bien fue significativamente ($p<0.05$) mayor en las mujeres en la temporada ($178,2\pm 6,76$ $latidos.min^{-1}$) en comparación a la pretemporada ($170,8\pm 9,3$ $latidos.min^{-1}$).

Sujetos	1ª velocidad	2ª velocidad	3ª velocidad	1ª velocidad	2ª velocidad	3ª velocidad
<i>Mujeres</i>						
A	30,86 ^c	31,97	33,91	29,63	31,76	32,06
D	34,33	35,55	39,68	34,14	36,04	38,93
M	31,07	33,07	35,54	29,71	31,54	34,40
A	30,86	31,97	33,91	29,63	31,76	32,06
A	32,79	33,90	36,68	X	X	X
C	35,36	37,38	39,21	36,22	37,60	39,30
S	30,82	30,57	32,71	X	X	X
<i>Varones</i>						
S	39,21	40,75	44,84	39,00	40,86	43,76
M	37,84	37,91	40,77	37,07	37,20	39,90
E	39,67	41,73	44,03	40,30	40,64	44,60
R	40,51	43,84	46,09	45,30	46,90	47,80
N	39,31	40,59	41,78	X	X	X
S	45,47	45,95	48,82	43,47	45,24	47,71
T	44,48	46,79	48,35	42,95	43,40	46,08
W	43,31	42,75	45,43	X	X	X

Tabla 1. Cambios en la economía de la carrera durante la temporada en atletas universitarios. a=pretemporada; b=temporada de cross-country; c=RE en $mL.kg^{-1}.min^{-1}$; X = no completaron las pruebas debido a lesiones.

Cambios en el Rendimiento en la Carrera

El rendimiento en la carrera fue valorado por medio del cambio en los tiempos de los encuentros competitivos para varones (carrera *cross country* de 8 km) y mujeres (carrera *cross country* de 5 km). Las distancias de los encuentros fueron similares aunque las carreras fueron llevadas a cabo en distintos campos. La Tabla 2 muestra las variaciones en los tiempos de los encuentros competitivos durante la temporada de *cross country* para cada atleta. Es evidente que el

rendimiento en la carrera tuvo una tendencia ($p=0,12$) a mejorar desde el primer encuentro hasta el Nacional (desde $27,21\pm 1,49$ min hasta $26,16\pm 0,31$ min para los hombres) ($n=3$) y mejoró significativamente ($p<0,05$) (desde $19,74\pm 1,36$ min hasta $18,90\pm 1,59$ min para las mujeres) ($n=3$), aunque varios atletas manifestaron reducciones en el rendimiento a lo largo de la temporada a medida que el volumen se incrementaba.

Cambios en la Composición Corporal

No hubo cambios ($p>0,05$) en los hombres y las mujeres en el % BF durante la temporada. El %BF medio fue igual a $6,50\pm 1,94$ % y $20,16\pm 3,31$ % para los corredores hombres y mujeres, respectivamente.

Correlaciones del Rendimiento en la Carrera y la Economía de la Carrera

En la condición inicial, teniendo en cuenta a todos los atletas, el rendimiento en la carrera correlacionó significativamente con la RE a la velocidad más alta ($r=0,62$, $p<0,05$) y el VO_2 máx. ($r=0,69$, $p<0,05$). Cuando los datos fueron separados por sexo, solo en las mujeres se encontró una correlación significativa entre rendimiento en la carrera y VO_2 máx. ($r=-0,74$, $p<0,05$). El modelo que consistió en el VO_2 máx. y RE, explicó el 48% de la variabilidad en el rendimiento en la carrera, tiempo de carrera = $-0,003.(RE) + 0,31.(VO_2 \text{ máx.}) + 4,37$, $p<0,05$. El modelo que consistió en tiempo de carrera y VO_2 máx., explicó el 81% de la variabilidad en la RE a la velocidad más alta, $RE = -0,001$ (tiempo de carrera) + $0,90.(VO_2 \text{ máx.}) + 9,84$, $p<0,01$.

Corredor	Sexo	1º Encuentro	2º Encuentro	3º Encuentro	4º Encuentro	5º Encuentro	6º Encuentro	Ntls.
A	F	18,78	18,48	17,79	18,55	17,52	17,55	17,77
D	F	20,70	20,30	19,60	20,19	19,17	19,41	20,02
M	F	20,28	20,17	19,33	20,75	X	21,55	X
A	F	22,09	21,11	20,97	21,66	19,55	19,87	20,12
A	F	X	21,15	20,15	20,83	19,35	19,81	19,36
C	F	21,02	20,38	21,67	22,03	20,41	21,20	X
S	F	24,02	24,40	X	25,75	22,62	24,37	X
S	M	28,49	26,93	25,65	27,15	25,27	25,65	26,51
M	M	25,57	27,49	26,25	27,52	26,05	26,19	26,02
E	M	24,51	27,61	26,90	28,04	26,58	26,50	28,27
R	M	24,33	X	27,41	29,10	26,23	27,02	X
N	M	X	28,95	27,91	28,80	26,51	27,27	X
S	M	27,20	X	X	X	X	27,18	X
T	M	X	28,60	27,83	29,05	27,17	27,24	X
W	M	X	X	X	X	X	27,15	X

Tabla 2. Rendimiento en la carrera durante la temporada de cross-country en atletas universitarios. X=encuentro perdido; los tiempos están expresados en minutos y corresponden a 8 y 5 km para los hombres y mujeres, respectivamente. Ntls; Campeonatos Nacionales.

Incidencia de Lesiones

Lesiones incluyendo síndrome de estrés de la tibia medial, esguince de tobillo, fracturas por estrés, y tirón de ingle, se manifestaron en más del 50% de los atletas durante la temporada, y varios informaron dolor de espalda que impedía el entrenamiento regular. Siete de quince atletas presentaron resfriados y gripe. Esto llevó a la reducción en el entrenamiento (un mínimo de 25 días de entrenamiento perdidos, según lo registrado en los registros de entrenamiento) y múltiples instancias donde los atletas tuvieron que saltarse encuentros competitivos individuales debido a lesiones.

DISCUSION

El principal objetivo de este trabajo fue estudiar los cambios en el VO_2 máx., la economía de la carrera, el rendimiento, así como también las correlaciones del rendimiento durante un *cross country* competitivo y la temporada de pista en atletas universitarios. El rendimiento en la carrera aumentó en las mujeres, aunque la magnitud de la mejoría fue pequeña. Ni la RE ni el VO_2 máx. se incrementaron durante la temporada, ya que solo tres de nueve atletas mostraron un aumento en el VO_2 máx. o en la RE con el entrenamiento. La economía de la carrera y el VO_2 máx. presentaron una correlación significativa con el rendimiento en la carrera. La incidencia de lesiones en las piernas fueron altas (>50 %) en los atletas, causando la pérdida de encuentros deportivos y sesiones de entrenamiento, y en algunos casos, imposibilidad para completar la temporada.

La ausencia de cambio en la economía de la carrera (RE) observada en el presente estudio es coherente con algunos informes anteriores, pero no con otros. En corredores recreacionales (VO_2 máx.=63,9 mL.kg⁻¹.min⁻¹) que realizaban 30-40 millas(48,3-64,4 km) por semana de entrenamiento, Daniels y col. (4) informaron ausencia de cambios en la RE con 8 semanas de entrenamiento. Un estudio reciente (25) reveló que 8 semanas de entrenamiento de fuerza intenso para los miembros inferiores incrementó la RE en un 5%, en corredores de larga distancia bien entrenados. En un grupo elite de corredores de larga distancia (26), se declaró que las alteraciones en la RE mayores al 2,4% son probablemente "dignas de consideración" y no están simplemente relacionadas a error de testeo y variación típica. Esta magnitud de cambio en el consumo de oxígeno es similar al error día a día del VO_2 submáximo en el presente estudio.

Hay poco consenso en cuanto a la eficacia del entrenamiento para aumentar la economía de la carrera, más probablemente debido a los defectos metodológicos aplicados en estudios anteriores, tales como pequeño tamaño de la muestra, confiabilidad de la prueba pobre, e incapacidad para controlar los factores que alteran la economía de la carrera, tales como el calzado y experiencia en la cinta rodante (26). En el presente estudio, la correlación test-retest para la RE a través de ensayos múltiples fue alta (0,93), el error entre ensayos en el VO_2 submáximo fue pequeño (2,0 %), y los sujetos realizaron una adaptación a la cinta rodante, usaron el mismo calzado, y no realizaron ejercicio durante las 24 horas previas a la visita al laboratorio. Con todo, solamente tres corredores manifestaron un cambio significativo en la RE (>2,0 %) en respuesta al entrenamiento. En algunos estudios (11, 27) ha sido encontrada una carencia de efecto de entrenamiento sobre el RE; mientras que otros demuestran que el entrenamiento mejora la RE. Los resultados de Franch y col. (1998) (28) demostraron que la RE fue significativamente mejorada con entrenamiento continuo (3,0 %) o entrenamiento intervalado largo (3,1 %), pero no con entrenamiento intervalado corto, realizado durante 6 semanas por corredores recreacionales. En atletas de elite, Conley y col. (8,9) señalaron aumentos importantes en la economía de la carrera (5-16 %), especialmente como resultado del entrenamiento intervalado, aunque a la vez, no fueron acompañados por cambios en el VO_2 máx. En general, la literatura muestra que los incrementos inducidos por el entrenamiento en la RE son más comunes en individuos físicamente activos a moderadamente entrenados, observándose pequeños cambios en los corredores de larga distancia experimentados, los cuales ya poseen con los años de entrenamiento, un buen desarrollo de la economía de la carrera. Con recientes estudios que describen mejoras en la economía de la carrera a través del entrenamiento de la fuerza (29) y el entrenamiento en altura (30) o en el calor (26), puede haber oportunidades para mejorar la RE a través de medios diferentes al entrenamiento tradicional de resistencia o al entrenamiento intervalado.

La ausencia de cambio en el VO_2 máx. con el entrenamiento en atletas competitivos de resistencia es un hallazgo común en la literatura. En atletas de resistencia de nivel elite (VO_2 máx.>70 mL.kg⁻¹.min⁻¹) que completaron 3 años de entrenamiento (6), el VO_2 máx. no presentó cambios, aunque el rendimiento en la carrera, en distancias que van desde los 800 m a la maratón, mejoró. Hallazgos similares fueron presentados en otros estudios (4, 10). Las explicaciones para esta falta de cambio en el VO_2 máx., incluyen la consecución del límite máximo genético del sujeto para el consumo de oxígeno, así como la imposibilidad para medir el VO_2 máx. con la frecuencia suficiente como para detectar cambios significativos en este parámetro.

Además, el incremento del rendimiento en la carrera no se debe exclusivamente a alteraciones en el VO_2 máx., ya que la RE, el umbral de lactato, el tipo de fibra y la densidad mitocondrial, y la capacidad *buffer*, representan factores alternativos que intervienen en el rendimiento de la carrera de larga distancia.

La asociación entre rendimiento en la carrera y RE está bien definida. Ha sido demostrado que los corredores de elite (VO_2 máx.=79 mL.kg⁻¹.min⁻¹) tienen una RE superior en comparación a la RE de los corredores de larga distancia de buen nivel (VO_2 máx.=69 mL.kg⁻¹.min⁻¹), así los corredores de elite podrían desempeñarse a una fracción de su VO_2 máx. relativamente más baja (31). En su revisión, DiPrampo y colegas (32) indicaron que un 5% de incremento en la RE provoca un incremento del 3,8% en el rendimiento en la carrera. Después de 22 meses de régimen de entrenamiento (33), la economía de la carrera a 9 (14,5 km.h⁻¹) y 12 mph (19,3 km.h⁻¹) mejoró en atletas elite de larga distancia (VO_2 máx.=75,0 mL.kg⁻¹.min⁻¹) junto con el rendimiento en los 5 km. Sin embargo, otro estudio en corredores de larga distancia (10

km= \sim 35 min) (16) mostró que el VO₂ máx. y la tasa de utilización de fibras lentas estuvieron asociados al rendimiento en los 10 km, aún cuando la RE a 7,8 mph (12,6 km.h⁻¹) no estuvo asociada. Puede ser que la velocidad de la carrera elegida en este estudio fuera demasiado lenta, y que los sujetos fueran demasiado heterogéneos para revelar alguna relación entre el costo submáximo de oxígeno y el rendimiento. Esto implica que los científicos deberían abstenerse de elegir velocidades que están muy por debajo del ritmo de competición para medir apropiadamente la economía de la carrera en atletas de resistencia bien entrenados.

Se han propuesto intervenciones para minimizar las lesiones de los corredores, incluyendo la reducción del volumen de entrenamiento, los estiramientos, y el uso de plantillas. Yeung and Yeung (34) citaron que la reducción en la frecuencia, duración, y distancia del entrenamiento, atenuaron la incidencia de lesiones en un 19, 41, y 70%, respectivamente. Los estiramientos han mostrado reducir las lesiones por sobreuso en comparación con un grupo control (38), aunque los sujetos eran aprendices militares y no corredores. Los datos de BenGal y col. (36), en los cuales se utilizaron rodilleras, revelaron una disminución en el dolor de rodilla en respuesta al entrenamiento semanal; mientras que otros resultados (37, 38) demostraron ausencia de cambios en las lesiones con el uso de plantillas. No obstante, las personas que completaron un gran volumen de carrera, los sujetos en estos estudios fueron reclutas militares o árbitros de fútbol, por lo que es cuestionable la generalización de estos datos a los atletas de larga distancia. Es evidente que reduciendo el volumen de entrenamiento habrá menor incidencia de lesiones, pero la dosis óptima de entrenamiento para mantener o mejorar la aptitud física, y simultáneamente minimizar lesiones, es desconocida.

Deberían ser realizadas investigaciones adicionales en corredores de larga distancia usando diseños controlados y seleccionados al azar, para entender más este tema.

Conclusiones

Los datos revelan que el rendimiento en la carrera está fuertemente correlacionado con el VO₂ máx. y la RE. Además, fue observada una mejora del rendimiento y un incremento no significativo en la RE, aunque no se encontraron cambios en el VO₂ máx. Hubo muchos acontecimientos de lesiones debilitantes en los corredores, los cuales llevaron a la pérdida de competiciones y entrenamientos y hasta en algunos casos, a la ausencia de las competencias de toda la temporada. Esta prevalencia de lesión no es nueva, el resultado de una búsqueda en PubMed usando los términos "corredores y lesión" proporcionó 471 items. Cada atleta se adapta en forma diferente al entrenamiento, y es probable que también posean diferentes umbrales de entrenamiento antes de que ocurra una lesión.

Agradecimientos

Se expresa la gratitud a los atletas que participaron en este estudio.

Dirección para Envío de Correspondencia

TA Astorino, Ph.D, Department of Kinesiology, California State University—San Marcos, San Marcos, CA, USA, 92096-0001. Teléfono: (760) 750-7351; Fax: (760) 750-3190; correo electrónico: astorino@csusm.edu.

REFERENCIAS

1. Holloszy J. O., Coyle E. F (1984). Adaptations of skeletal muscle to endurance exercise and their metabolic consequences. *J Appl Physiol* 56 (4):831-8
2. Gledhill N., Cox D., Jamnik R (1994). Endurance athlete's stroke volume does not plateau: major advantage is diastolic function. *Med Sci Sports Exerc* 26 (9):1116-21
3. Milesis C., Pollock M. L., Bah M. D., Ayres J. J., Ward A., Linnerud A. C (1976). Effects of different durations of physical training on cardiorespiratory function, body composition, and serum lipids. *Res Q* 47 (4):716-25
4. Daniels J. T., Yarborough R. A., Foster C (1978). Changes in VO₂max and running performance with training. *Eur J Appl Physiol* 39: 249-54
5. Kavanagh T., Shephard R. J., Pandit V (1974). Marathon running after myocardial infarction. *J Am Med Assoc* 229: 1602-05
6. Arrese Legaz A., Serrano Ostariz E., Casajus Mallen J. A., Munguia Izquierdo D (2005). The changes in running performance and maximal oxygen uptake after long-term training in elite athletes. *J Sports Med Phys Fitness* 45: 435-40
7. Daniels J. T (1974). Running with Jim Ryun: a five-year study. *Physician Sports Med* 3: 62-7
8. Conley D. L., Krahenbuhl G. S., Burkett L. N (1981). Training for aerobic capacity and running economy. *Physician Sports Med* 9 (4): 107-15
9. Conley D. L., Krahenbuhl G. S., Burkett L. N., Millar A. L (1984). Following Steve Scott: Physiological changes accompanying training. *Physic Sports Med*, 12(1): 103-6
10. Slawinski J., Demarle A., Koralsztein J. P., Billat V (2001). Effect of supra-lactate threshold training on the relationship between

- mechanical stride descriptors and aerobic energy cost in trained runners. *Arch Phys Biochem* 109 (2): 110-6
11. Costill D. L., Thomason H., Roberts E (1973). Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* 5: 248-52
 12. Daniels J. T (1985). A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc.* 17 (3): 332-8
 13. Morgan D. W., Craib M. W., Krahenbuhl G. S., Woodall K., Jordan S., Filarski K., Burleson C., Williams T (1994). Daily variability in running economy among well-trained male and female distance runners. *Res Q Exerc Sport* 65 (1): 72-7
 14. Foster C., Daniels J. T., Yarbrough R. A (1977). Physiological and training correlates of marathon running performance. *Aust J Sports Med* 9: 58-61
 15. Farrell P. A., Wilmore J. H., Coyle E. F., Billing J. E., Costill D. L (1979). Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports* 11 (4): 338-44
 16. Williams K. R., Cavanagh P. R (1987). Relationship between distance running mechanics, running economy, and performance. *J Appl Physiol* 63 (3): 1236-45
 17. Conley D. L., Krahenbuhl G. S (1980). Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med Sci Sports* 12: 357-60
 18. Costill D. L (1967). The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J Sports Med* 7: 61-6
 19. Cavanagh P. R., Williams K. R (1982). The effect of stride length variation on oxygen uptake during distance running. *Med Sci Sports Exerc* 14: 30-35
 20. Jackson A. S., Pollock M. L (1978). Generalized equations for predicting body density of men. *Brit J Nutr* 40:497-504
 21. Jackson A. S., Pollock M. L (1980). Generalized equations for predicting body density of women. *Med Sci Sports Exerc* 12 (3): 175-81
 22. Heyward V. H (2002). *Advanced Fitness Assessment and Exercise Prescription. (4th Ed.) Champaign, IL: Human Kinetics*
 23. Astorino T. A., Robergs R. A., Ghiasvand F., Marks D., Burns S (2000). Incidence of the oxygen plateau during exercise testing to volitional fatigue. *J Exerc Physiol* 3:1-12
 24. Beaver W. L., Wasserman K., Whipp B. J (1986). A new method for detecting anaerobic threshold by gas exchange. *J Appl Physiol* 60(6):2020-7
 25. Storen O., Helgerud J., Stoa E. M., Hoff J (2008). Maximal strength training improves running economy in distance runners. *Med Sci Sports Exerc* 40 (6): 1087-92
 26. Saunders P., Pyne D. B., Telford R. D., Hawley J (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med* 40 (7): 465-85
 27. Dolgener F (1982). Oxygen cost of walking and running in untrained, sprint trained, and endurance trained females. *J Sports Med Phys Fitness* 22(1):60-5
 28. Franch J., Madsen K., Djurhuus M., Mogens S., Pedersen P. K (1998). Improved running economy following intensified training correlates with reduced ventilatory demands. *Med Sci Sports Exerc* 30 (8):1250-6
 29. Katayama K., Sato K., Matsuo H., Ishida K., Iwasaki K., Miyamura M (2004). Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *Eur J Appl Physiol* 92(1):75-83
 30. Pollock M. L (1977). Submaximal and maximal working capacity of elite distance runners: Part 1; cardiorespiratory aspects. *Ann NY Acad Sci* 301: 310-22
 31. Di Prampero P. E., Capelli C., Pagliaro P., Antonutto G., Girardis M., Zamparo P., Soule R. G (1993). Energetics of best performances in middle distance running. *J Appl Physiol* 74 (5):2318-24
 32. Svedenhag J., Sjodin B (1995). Physiological characteristics of elite male runners in and off-season. *Can J Appl Sport Sci* 10 (3): 127-33
 33. Yeung E. W., Yeung S. S (2001). A systematic review of interventions to prevent lower limb soft tissue running injuries. *Br J Sports Med* 35: 383-9
 34. Hartig D. E., Henderson J. M (1999). Increasing hamstring flexibility decreases lower extremity overuse injuries in military basic trainees. *Am J Sports Med* 27 (2):173-6
 35. BenGal S., Lowe J., Mann G., Finsterbush A., Matan Y (1997). The role of the knee brace in the prevention of anterior knee pain syndrome. *Am J Sports Med* 25 (1):118-22
 36. Smith W., Walter J., Bailey M (1985). Effects of insoles in coast guard basic training footwear. *J Am Podiatric Med Assoc* 75: 644-7
 37. Schweltnus M. P., Jordaan G., Noakes T. D (1990). Prevention of common overuse injuries by the use of shock absorbing insoles. *Am J Sports Med* 18: 636-41

Cita Original

Astorino, T.A. Changes in running economy, performance, $\dot{V}O_{2\max}$, and injury Status in distance runners during a competitive season. *JEPonline*; 11 (6): 56-66, 2008.