

Article

Impacto de la Distribución de la Intensidad sobre el Rendimiento del Entrenamiento en Atletas de Resistencia

Dr. Jonathan Esteve Lanao, PhD¹, Carl Foster², Stephen Seiler³ y Alejandro Lucia¹

¹Exercise Physiology Laboratory, European University of Madrid, Madrid, Spain

²Department of Exercise and Sport Science, University of Wisconsin-La Crosse, La Crosse, Wisconsin 54601

³Faculty of Health and Sport, Agder University College, Kristiansand, Norway

RESUMEN

El propósito de este estudio fue comparar el efecto sobre el rendimiento de corredores de resistencia de 2 programas de entrenamiento que se diferenciaban por la contribución relativa al volumen de entrenamiento, situado claramente por debajo del umbral de lactato o situado entre el umbral del lactato y la región de estado estable del lactato. Doce corredores de resistencia sub-élite (quienes eran especialistas en eventos de pista, principalmente en la carrera de 5000 metros normalmente realizada durante los meses de primavera-verano y quienes también participaban en las carreras a campo traviesa [9-12 km] durante los meses de otoño e invierno) fueron asignados al azar a un programa de entrenamiento basado en intensidades de entrenamiento de baja intensidad (por debajo del umbral) (Z1) o intensidad moderadamente altas (entre los umbrales) (Z2). Al comienzo del estudio, los sujetos realizaron un test de ejercicio máximo para determinar el umbral ventilatorio (VT) y el umbral de compensación respiratoria (RCT), lo que permitió controlar el entrenamiento en base a la frecuencia cardíaca durante cada sesión de entrenamiento durante un período de entrenamiento de 5 meses. Los sujetos realizaron una simulación de carrera de campo traviesa de 10,4 km antes y después del período de entrenamiento. El entrenamiento se cuantificó sobre la base del tiempo acumulado en 3 zonas de intensidad: zona 1 (intensidad baja; RCT). La contribución del tiempo de entrenamiento total destinado a las zonas 1 y 2 fue controlado para tener entrenamiento de relativamente menor intensidad en Z1 ($80,5 \pm 1,8\%$ y $11,8 \pm 2,0\%$, respectivamente) que en Z2 ($66,8 \pm 1,1\%$ y $24,7 \pm 1,5\%$, respectivamente), mientras que la contribución del entrenamiento de alta intensidad (zona 3) fue similar ($8,3 \pm 0,7\%$ [Z1] y $8,5 \pm 1,0\%$ [Z2]). La magnitud de la mejora en el rendimiento de carrera fue significativamente mayor ($p=0,03$) en Z1 (-157 ± 13 segundos) que en Z2 ($-121,5 \pm 7,1$ segundos). Estos resultados aportan evidencia experimental que apoya el valor de realizar un porcentaje relativamente grande de entrenamiento de baja intensidad durante un período largo (~5 meses), con tal de que la contribución del entrenamiento de alta intensidad siga siendo suficiente.

Palabras Clave: Zonas de entrenamiento, frecuencia cardíaca, rendimiento en carreras

INTRODUCCIÓN

Si bien las adaptaciones fisiológicas subyacentes asociadas con un mejor rendimiento de resistencia con el entrenamiento

están bien establecidas, existe un gran debate sobre cómo uno debe entrenar para inducir estas adaptaciones y traducirlas a mejoras en el rendimiento. Un aspecto importante que se discute es la intensidad del entrenamiento y cómo se debe distribuir la intensidad del entrenamiento diario. La intensidad del entrenamiento típicamente se divide en zonas de entrenamiento más o menos arbitrarias, establecidas a menudo en base de determinaciones de intensidad accesibles, como la frecuencia cardíaca (HR) (es decir, 80-90% de la frecuencia cardíaca máxima [HRmax]) (12). Hay una necesidad práctica clara de dividir el continuo de intensidad de entrenamiento en zonas. Sin embargo, estas zonas deben ser establecidas con marcadores fisiológicos identificables para ser utilizadas de manera significativa en la interpretación del impacto de la organización del entrenamiento. Recientemente para definir 3 zonas de intensidad de entrenamiento (7, 27), adoptamos el uso de los umbrales ventilatorios y sus valores de frecuencia cardíaca (HR) asociados identificados durante un test progresivo en cinta rodante o en bicicleta. Estas zonas fueron: zona 1, ejercicio de baja intensidad realizado por debajo del primer umbral ventilatorio (VT); zona 2, ejercicio de intensidad moderadamente alta realizado en un rango de intensidades entre el VT y el umbral de compensación respiratoria (RCT); y zona 3, ejercicio aeróbico de alta intensidad realizado por encima de RCT (7, 27).

Recientemente Seiler y Kjerland (27) informaron una distribución de sesiones de entrenamiento de 75%-8%-17% en las zonas 1, 2, y 3, respectivamente, durante un período de 32 días en esquiadores junior de campo travesía competitivos que estaban entrenando 10 a 12 horas por semana. En un estudio anterior (7), nosotros encontramos una distribución similar (71%-21%-8%) basada en los tiempos de HR en los corredores de fondo durante un período de ~6-meses en el cual el volumen de entrenamiento era 4 a 5 h por semana. Estos datos fueron similares a los informados durante el entrenamiento en ciclistas profesionales (21), maratonistas de élite (2), remeros de élite (8, 29), y ciclistas que realizaban carreras de tour de 3 semanas (20). Los resultados de uno de estos estudios descriptivos (7) arrojaron una asociación positiva entre el tiempo total de entrenamiento en zona 1 y el rendimiento de la competencia en una carrera de 10 km a campo travesía, lo que sugiere tentativamente que el entrenamiento de baja intensidad tiene un impacto positivo en el rendimiento a pesar de la falta de especificidad de la intensidad. Lo que comparten todos estos estudios diferentes realizados con ciclistas, corredores, esquiadores de campo travesía y remeros es el hallazgo que los atletas altamente entrenados (incluidos los atletas de nivel mundial y de élite) realizan aprox. 75% de su entrenamiento en intensidades por debajo del umbral del lactato o VT (es decir, en la zona 1), a pesar de competir en intensidades mucho mayores. Ellos parecen requerir un porcentaje relativamente pequeño de su carga total de entrenamiento en intensidades iguales o superiores al VT (zonas 2 o 3) para alcanzar un rendimiento máximo. En otras palabras, parece que volúmenes sustanciales de entrenamiento de relativamente baja intensidad (zona 1) podrían ser una parte fundamental de los programas de entrenamiento de resistencia para competencias y podrían aportar una base para las adaptaciones específicas que ocurren en respuesta a los entrenamientos de alta intensidad o específicos (zona 3). Sin embargo, esta hipótesis, está basada solo en datos descriptivos porque los estudios experimentales que involucran la manipulación de la distribución de intensidad en atletas altamente entrenados están casi ausentes en la literatura.

Por lo tanto, este estudio fue diseñado para comparar los efectos sobre el rendimiento de 2 programas de entrenamiento que se diferenciaban por diferentes contribuciones relativas con la carga total de entrenamiento de las zonas de entrenamiento de baja intensidad o zona 1 y de la zona de umbral de lactato o zona 2 mientras se mantenía constante la contribución la zona de alta intensidad o zona 3. Sobre la base de los resultados de investigaciones previas que demostraron que los atletas de resistencia organizan su entrenamiento espontáneamente para destinar la mayor parte del tiempo de entrenamiento en la zona 1 (7, 8, 10, 20, 23, 27), planteamos la hipótesis que los mayores aumentos en el rendimiento de resistencia serían producidos por un programa de entrenamiento que pusiera énfasis en el entrenamiento a relativa baja intensidad (zona 1).

MÉTODOS

Enfoque experimental del problema

Expusimos a 2 grupos de corredores altamente entrenados a un programa de entrenamiento de 5 meses que sólo diferían en la distribución de la intensidad del entrenamiento y no diferían en la carga de entrenamiento total. Específicamente, 1 grupo de atletas realizó un porcentaje relativamente más alto de su volumen de entrenamiento total en la zona 1, por debajo de su VT. El segundo grupo entrenó relativamente más en la zona 2, entre VT y RCT, y entrenó menos dentro de la zona 1. Ambos grupos entrenaron volúmenes esencialmente idénticos en la zona 3 (es decir, intensidades >90% del VO₂max). Para asegurar que la carga total de entrenamiento (es decir, volumen x intensidad) era similar en los dos los grupos de estudio a pesar de las diferencias en la intensidad (menor o mayor contribución de la zona 1), nosotros usamos un enfoque modificado de la metodología del impulso de entrenamiento (TRIMP) para monitorear el entrenamiento (9). Para evaluar el impacto de los dos programas de entrenamiento, comparamos el rendimiento competitivo en una carrera a campo travesía simulada de 10,4-km antes y después del período de entrenamiento.

Sujetos

El comité de ética de investigación institucional (Universidad Europea de Madrid) aprobó el estudio, y los sujetos dieron su consentimiento informado antes de participar en el mismo. Veinte corredores varones españoles sub elite competitivos (desde nivel regional hasta nivel nacional, con experiencia en competición >5 años) fueron seleccionados originalmente para este estudio. Habían participado en eventos de pista (principalmente carreras de 5000 metros) durante los meses de primavera-verano y en carreras a campo traviesa (9-12 km) durante los meses de otoño e invierno. Los records personales (PR) de los participantes en carreras de 10 km variaron entre 30 minutos con 30 segundos y 35 minutos con 00 segundos.

Todos los sujetos vivían y entrenaban en el área alrededor de Madrid, España (altitud de ~600 m). En el estudio se consideraron sólo los datos de los sujetos que cumplían con las siguientes condiciones: (a) realización de por lo menos 98% de todas las sesiones de entrenamiento planeadas; (b) registros completos de la frecuencia cardíaca (HR) de cada sesión de entrenamiento (sin omitir una sola sesión) durante el período de entrenamiento completo; (c) realización de cada sesión de entrenamiento diaria bajo la vigilancia de uno de los autores (J.E.L.), que era entrenador profesional; (d) no presentar ninguna señal o síntomas de sobre entrenamiento a corto plazo/sobre entrenamiento durante el período de entrenamiento completo (es decir, aumentos prolongados en la HR basal, incapacidad para alcanzar valores altos de HR, incapacidad para mantener la velocidad de carrera requerida durante los entrenamientos de alta intensidad, incapacidad para recuperarse de las sesiones de entrenamiento, disminución en el rendimiento, dolor muscular significativo incluso después de los días fáciles) y (e) realizar ambas competencias simuladas, antes y después del entrenamiento.

Antes del comienzo del período de intervención de entrenamiento, todos los corredores reclutados realizaron el mismo programa de entrenamiento inicial de 3 semanas con 100% de entrenamiento en zona 1 en la semana 1 seguido por una distribución porcentual de tiempo en zonas establecidas por HR de 87/9/4 y 93/3/4 en las semanas 2 y 3, respectivamente. La evaluación fisiológica previa al entrenamiento se realizó al final de este período básico. Luego los veinte corredores fueron asignados al azar a 2 diferentes grupos de entrenamiento (N = 10 cada uno) durante un período de 5 meses, siguiendo un programa de entrenamiento con una mayor contribución de la zona 1 (grupo Z1) o una menor contribución de la zona 1 y por lo tanto una mayor contribución de la zona 2 (grupo Z2), en relación al patrón de entrenamiento normal observado en esta población (7). Ambos grupos tenían que realizar la misma carga total entrenamiento (volumen x intensidad) durante el período de entrenamiento, en base al método de puntuación TRIMP descrito mas abajo, pero con distribución diferente de las 3 zonas de intensidad. Siete sujetos fueron excluidos porque no registraron exitosamente la HR durante por lo menos 98% de sus sesiones de entrenamiento. Un sujeto desarrolló una lesión crónica durante el período de entrenamiento y fue excluido. Por lo tanto los resultados se obtuvieron por la comparación de 6 sujetos en cada grupo que cumplieron con los criterios de inclusión. Los valores medios de edad, masa corporal y talla al comienzo del estudio fueron 27 ± 2 años, $63,5\pm 1,1$ kg y $174,8\pm 2,6$ centímetros (Z1) y 27 ± 2 años, $65,4\pm 1,0$ kg y $174,3\pm 1,2$ centímetros (Z2).

PROCEDIMIENTOS

Características Principales de Entrenamiento y Periodización.

El plan de entrenamiento de uno de los grupos (Z1) fue diseñado para lograr una distribución del porcentaje total en zonas 1, 2, y 3 de aprox. 80/10/10. El otro grupo (Z2) siguió un plan de entrenamiento diseñado para alcanzar una distribución del porcentaje total en zonas 1, 2, y 3 de aprox.65/25/10. Los 2 programas de entrenamiento fueron diseñados para alcanzar un puntaje similar en los 2 grupos para: (a) el valor de total TRIMP acumulado desde la semana 4 a la 21 del macrociclo de 5 meses (aprox. 8900 TRIMPs) y (b) el valor medio de TRIMP acumulado en el mismo período (valor medio de aprox. 495 TRIMPs/semana).

Las cargas de entrenamiento diarias se basaron en metas de tiempo más que de distancia, con el fin de controlar el tiempo relativo en cada zona para cada atleta. Aparte del período de entrenamiento básico de 3 semanas, la carga de entrenamiento se ajustó todas las semanas para asegurar que se alcance una puntuación TRIMP similar en ambos grupos. También se tuvo en cuenta la retroalimentación diaria de los atletas para evitar lesiones o sobre entrenamiento a corto plazo. Todos los atletas compartieron el mismo entrenador (J.E. L.). La intensidad de la sesión de cada sujeto fue personalizada en función de prácticas de entrenamiento normales pero restringida por el tratamiento experimental.

En conjunto, la diferencia principal en los diagramas de entrenamiento fue que los sujetos en el grupo Z2 realizaron típicamente varias series de carrera por semana en un ritmo constante o "tempo" que producía una frecuencia cardíaca (HR) dentro de la zona 2 (es decir, en un valor de HR equidistante tanto a VT como a RCT), mientras que los sujetos en el grupo Z1 realizaron estas sesiones en la zona 1 (HR aprox 5 lat/min por debajo del VT) durante un tiempo mas largo. Esto

permitió que los 2 grupos alcanzaran puntuaciones de TRIMP similares. Al final del programa de entrenamiento (último mesociclo de 3 semanas), los sujetos de ambos grupos realizaron las sesiones en intensidades altas (es decir, alcanzando los valores máximos de HR). Tanto en el grupo Z1 como en el grupo Z2, el período de 5 meses de estudio (es decir, macrociclo de 21 semanas) se dividió en 2 mesociclos iniciales de 3 semanas, seguidos por 3 mesociclos de 4 semanas y un último mesociclo de 3 semanas. El mesociclo inicial de 3 semanas fue idéntico para los 2 grupos (es decir, idéntica distribución en zonas de intensidad) porque incluyó sesiones de entrenamiento de formación, carrera de baja intensidad y sesiones de entrenamiento para la fuerza básica. En ambos grupos, cada mesociclo de 3 semanas tenía una estructura de carga 2:1 (es decir, 2 semanas con carga alta seguidas por una semana fácil), mientras que los mesociclos de 4 semanas tuvieron una estructura de carga 3:1.

El programa de entrenamiento se dividió en 3 períodos principales, cada uno con una meta diferente. El período preparatorio (semanas 1-10) se usó para entrenamiento de formación (zona 1 y circuito básico de entrenamiento de la fuerza) seguido por circuitos de entrenamiento de la fuerza y entrenamiento intervalado corto a largo (a aprox. RCT). En el período específico (semanas 11-18), se realizaron sesiones de entrenamiento de la fuerza específicamente durante la carrera real (ver debajo para más detalles sobre los ejercicios de fuerza). El período de competición (semanas 19-21) incluyó intervalos largos a una velocidad de carrera superior al ritmo de carrera, 1 sesión fácil por semana y 1 sesión semanal de entrenamiento de la fuerza (ver debajo para más detalles sobre los ejercicios de fuerza).

La distancia de carrera alcanzó un promedio aprox. de 80 a 90 km/semana en ambos grupos durante el período del estudio, incrementándose a lo largo del período preparatorio hasta alcanzar un máximo de aprox. 120 km/sem en la semana 16 y disminuyendo finalmente durante el período de competición (promedio de 40-50 km/semana). En todo el proceso, la intensidad de carrera siguió un modelo opuesto. Aunque existieron variaciones considerables dependiendo del período del macrociclo y de las semanas duras o fáciles de cada mesociclo, el programa semanal de entrenamiento usual de los corredores incluyó 2 sesiones/semana duras (incluyendo entrenamientos intervalados o de repetición en intensidades altas) y 1 o 2 sesiones/semana de entrenamiento de la fuerza. Las sesiones restantes estaban compuestas por entrenamiento continuo (realizado principalmente en la zona 1 en el grupo Z1 y en la zona 2 en el grupo Z2). Durante el período específico y de competición, todos los corredores participaron en 2 carreras a campo traviesa de ~5-km de distancia y 3 carreras a campo traviesa de ~10-km de distancia. Se monitoreó continuamente la frecuencia cardíaca durante estas carreras preparatorias y la misma fue incluida en la cuantificación de las cargas de entrenamiento. Aunque estas competencias no eran las competencias objetivo, se utilizaron como una parte importante del esquema de entrenamiento de estos corredores y se exigió a los sujetos de ambos grupos que se desempeñaran tan bien como pudieran.

Entrenamiento de la Fuerza Durante el Período del Estudio.

Todos los sujetos realizaron ejercicios de entrenamiento de la fuerza (ver debajo) porque se ha demostrado que este tipo de entrenamiento complementario evita la aparición de lesiones y mejora la economía de carrera (13, 25). El entrenamiento de la fuerza fue idéntico para todos los sujetos y no estuvo relacionado con la manipulación experimental del programa de entrenamiento. Durante el mesociclo inicial de 3 semanas, los corredores realizaron ejercicios corporales isométricos y dinámicos de traslado de masa corporal (sin carga externa), ejercicios (30 a 60-seg de duración) en diferentes ángulos de articulación y circuitos de entrenamiento aeróbico para la fuerza con cargas livianas. Los sujetos también realizaron 8 a 10 tipos diferentes de ejercicios de levantamiento de pesas (3-4 series que correspondían a 15-25 RM de media sentadilla en el *multipower*, estocadas, curl de piernas, press de piernas, press de banca, elevación de gemelos y jalones laterales) y otros ejercicios locales con vendas elásticas, como ejercicios de salto y con esterillas y ejercicios para el core con pelotas suizas, así como también ejercicios de propiocepción para pie, tobillos y rodillas.

Durante el período preparatorio (hasta la semana 10), los ejercicios de fuerza y resistencia fueron principalmente media sentadilla con 1 pierna, cargada, arranque, ejercicios excéntricos para isquiotibiales; ejercicios excéntricos-concéntricos para gemelos (para fortalecer el tendón de Aquiles y prevenir lesiones en esta zona); y ejercicios de salto con cargas en el tobillo. Las cargas variaron de 10 a 20 RM con una relación 1-/3-segundos entre las fases concéntrica/excéntrica para los ejercicios más explosivos (3-8 repeticiones con cargas de 15-25 RM) en un ciclo de acortamiento-estiramiento rápido. También se realizó entrenamiento pliométrico de intensidad liviana. Finalmente, los sujetos realizaron algunos ejercicios de rutina específicos, como el entrenamiento con circuito de Oregón con series de carrera desde 10 x 50 m hasta 100-m intercaladas con 9 ejercicios explosivos con 10 repeticiones de cada uno con cargas livianas (cargadas, arranques, sentadillas) o sin carga (brincos, saltos).

En el período específico (semanas 11-18), se realizaron sesiones de entrenamiento de la fuerza específicamente durante las carreras reales (usando chalecos pesados, intervalos de carrera cortos en colinas empinadas, o repeticiones más largas en terrenos con barro) en las velocidades específicas de las competencias o por encima de las mismas.

Durante el período de la competición (semanas 19-21), los sujetos realizaron 1 sola sesión de entrenamiento de la fuerza por semana que consistió en ejercicios básicos (es decir, 1-2 series cada uno de media sentadilla, flexión de rodillas, y

elevación de talones), con cargas que correspondían a 60% de 1RM estimada a una velocidad moderada (índice concéntrico/excéntrico: 1s/1s) y evitando llegar al fallo (es decir, deteniendo cada ejercicio 2-3 repeticiones antes del fallo muscular). El objetivo de esta única sesión semanal fue mantener el nivel de fuerza sin inducir un daño muscular adicional durante esta fase exigente que incluía sesiones de carrera intensas.

Pruebas Iniciales de Laboratorio y Tests de Rendimiento Inicial.

Los sujetos asistieron al laboratorio (altitud de ~600 metros) al principio del período de entrenamiento para realizar un test fisiológico (rampas) en cinta rodante (*Technogym Run Race 1400 HC, Gambettola, Italia*) para la determinación de VT y RCT. Después de una entrada en calor general, y comenzando a 11 km-h-1, la velocidad de carrera fue incrementada 0,5 km-h-1 cada 30 segundos hasta el agotamiento volitivo. Durante las pruebas, se recolectaron de manera continua los datos de intercambio de gases usando un sistema de respiración por respiración automatizado (*Vmax 29C; Sormedics, Yorba Linda, CA*). Se midieron las siguientes variables: consumo de oxígeno (VO₂), ventilación pulmonar (VE), equivalentes ventilatorios para oxígeno (VE-VO₂-1) y dióxido de carbono (VE-CO₂-1), y la presión parcial de oxígeno (PETO₂) y de dióxido de carbono (PETCO₂) al final de la expiración.

El consumo de oxígeno máximo (VO₂max) se registró como el mayor valor de VO₂ obtenido para todos los períodos continuo de 1 minuto durante las pruebas. Para establecer el VO₂max se requirió el cumplimiento de al menos 2 de los siguientes criterios: un plateau en los valores de VO₂ a pesar del aumento en la velocidad, una tasa de intercambio respiratorio $\geq 1,15$, o un valor de HR máximo por encima del 95% del máximo establecido para la edad (6). El VT se determinó utilizando el criterio de un aumento en VE-VO₂-1 y PETO₂ sin aumento en VE-CO₂-1, mientras que el RCT se determinó utilizando el criterio de incremento tanto en VE-VO₂-1 como en VE-CO₂-1 y una disminución en PETCO₂ (7). Dos observadores independientes establecieron los valores de VT y RCT. Si no había acuerdo, se solicitaba la opinión de un tercer investigador (7). La frecuencia cardíaca (lat-min-1) fue continuamente monitoreada durante las pruebas por medio de radio telemetría (*Accurex Plus, Polar Electro OY, Finlandia*).

Al principio y al final del período de entrenamiento, cada sujeto realizó una prueba contrarreloj que representaba el test de simulación de competencia (carrera de 10,4 km a campo traviesa) en el mismo circuito y bajo condiciones similares de viento y medioambientales. Esta prueba contrarreloj se utilizó para (a) determinar el nivel de aptitud inicial y asegurar un nivel de aptitud similar en ambos grupos antes de comenzar el estudio (dado que los sujetos fueron asignados al azar a los grupos Z1 y Z2) y (b) comparar la magnitud de cambios en el rendimiento en ambos grupos durante el período de entrenamiento. El circuito a campo traviesa era similar al de la competencia establecida al final de la temporada y se solicitó a los sujetos que lo realizaran lo mejor que pudieran. Se dio el estímulo verbal a los sujetos, y antes de todas las pruebas se realizó el período de descanso pre-competición típico (es decir, 2-3 días de entrenamiento fácil) para simular las condiciones de la competencia real. Los sujetos llevaron un telémetro de HR mientras realizaban las competencias simuladas pre y post entrenamiento para comparar la intensidad del ejercicio de ambas carreras.

Cuantificación de la Carga de Ejercicio durante el Entrenamiento.

Debido a que el mesociclo inicial de 3 semanas fue el mismo en los dos grupos, para las comparaciones estadísticas cuantificamos los datos de las semanas 4 a la 21, (18 semanas experimentales). En todos los sujetos, se midió la HR (cada 5 segundos) durante cada sesión de entrenamiento y durante la competencia preparatoria (sin datos faltantes) durante el macrociclo de 21 semanas completo. Se cuantificaron las siguientes variables: (a) tiempo total destinado a cada zona de intensidad (zona 1: HR por debajo de la HR en VT; zona 2: HR situada entre HR en VT y HR en RCT; zona 3: HR por encima de HR en RCT) y (b) la carga total (puntuación TRIMP) tal como se explica mas abajo. Se analizaron aprox. 2000 sesiones de entrenamiento en total. Investigaciones previas realizadas con atletas de resistencia altamente entrenados demostraron que valores de HR en VT y RCT determinados durante tests de laboratorio se mantienen estables durante la temporada a pesar de los aumentos significativos en la carga de trabajo que permiten alcanzar ambos umbrales (22). Así, una sola prueba realizada al inicio durante el período de entrenamiento (como la que utilizamos aquí) sería válida para monitorear el entrenamiento basada solamente en los valores de HR en VT y RCT (22).

Nosotros estimamos la carga de ejercicio total (es decir, intensidad x volumen) acumulada en cada sesión de entrenamiento utilizando una nueva metodología para calcular el TRIMP sobre la base de un método recientemente desarrollado por Foster et al. (9). Este método que se ha usado recientemente para estimar la carga de ejercicio total en competencias de ciclismo profesional de 3 semanas (10, 23) y en sesiones de entrenamiento de corredores de resistencia altamente entrenados de nivel de competición similar al de los sujetos que participaron en este estudio (7), emplea los datos de HR durante el ejercicio para integrar tanto el volumen total como la intensidad total en relación a las 3 zonas de intensidad. Brevemente, la puntuación para cada zona se calcula multiplicando la duración acumulada en esta zona por un multiplicador ponderado por intensidad- (por ejemplo, a 1 minuto en la zona 1 se le da un puntaje de 1 TRIMP, 1 minuto en zona 2 se le da un puntaje de 2 TRIMPs y a 1 minuto en zona 3 se le da un puntaje de 3 TRIMPs). Luego se obtiene la puntuación de TRIMP total sumando los resultados de las 3 zonas.

Análisis estadísticos

Para asegurar que la aptitud y nivel de la competición de ambos grupos eran similares al inicio, los valores medios de todas las variables indicativas de nivel de aptitud (VO₂max, VT y RCT, etc.) y rendimiento (carrera simulada de 10,4 km) obtenidos antes del período de entrenamiento fueron comparados entre los grupos por medio del Test U de Mann-Whitney. (Debido al tamaño poblacional pequeño, elegimos el test no paramétrico mencionado en lugar de usar Test *t* de Student de muestras desapareadas). Utilizamos el test de Wilcoxon y los coeficientes de correlación de Pearson para comparar la intensidad (a través de los datos de HR) en todos los sujetos durante las dos competencias simuladas. Esto nos permitió confirmar que los sujetos realizaron un esfuerzo similar en ambas competencias y así, la posible diferencia en la magnitud de la mejora pre vs post entrenamiento entre ambos grupos podía ser atribuida a la intervención de entrenamiento. Para asegurar que la carga de entrenamiento total (volumen x intensidad) y la distribución en las zonas de intensidad eran similar y diferente, respectivamente, en los 2 grupos durante el período de entrenamiento, los valores medios de la puntuación total TRIMP y el tiempo total y % destinado a las zonas 1, 2, y 3 durante el período de intervención de 18 semanas (semanas 4-21) también fueron comparados mediante el Test U de Mann-Whitney en los 2 grupos. Finalmente, para evaluar el efecto de interacción entre grupo y tiempo en el rendimiento, el aumento medio en el rendimiento durante el período de entrenamiento en Z1 y Z2 se comparó usando el Test U de Mann-Whitney. El tamaño del cambio en el rendimiento y su precisión fueron proporcionados informando el cambio en valores medios (\pm SEM) e intervalos de confianza de 95% (95% CI) para el cambio, respectivamente. La potencia estadística para todas las comparaciones entre los grupos Z1 (N = 6) y Z2 {N = 6) estuvo entre 0,06 y 1,00.

Los datos descriptivos se presentan en forma de media \pm SEM y en todos los análisis estadísticos el nivel de significancia se fijó en $p \leq 0,05$.

RESULTADOS

Pruebas de Laboratorio y de Rendimiento Iniciales

Los valores medios de la velocidad de carrera máxima alcanzados durante los tests en cinta rodante (Vmax), VO₂max, velocidad de carrera en VO₂max (vVO₂max), HRmax, VT, RCT (ambos expresados ya sea como velocidad de carrera, % HRmax, o% VO₂max), y el tiempo de rendimiento en la prueba de competencia inicial no presentaron diferencias en los 2 grupos (Tabla1).

	Group Z1	Group Z2
	(n = 6)	(n = 6)
vmax (km h ⁻¹)	21,5 \pm 0,6	21,2 \pm 0,7
vVO ₂ max (km h ⁻¹)	21,1 \pm 0,7	20,5 \pm 0,6
VO ₂ max (ml kg ⁻¹ min ⁻¹)	68,6 \pm 2,4	70,3 \pm 2,6
HRmax (lat min ⁻¹)	191 \pm 4	193 \pm 3
VT (km h ⁻¹)	13,7 \pm 0,6	13,8 \pm 0,5
VT (%VO ₂ max)	67,0 \pm 2,6	68,0 \pm 3,6
VT (lat min ⁻¹)	147 \pm 4	151 \pm 4
RCT (km h ⁻¹)	17,8 \pm 0,6	17,8 \pm 0,6
RCT (%VO ₂ max)	88,0 \pm 2,3	87,3 \pm 1,9
RCT (lat min ⁻¹)	171 \pm 4	173 \pm 3
Tiempo de rendimiento durante las carrera simuladas de 10,4 km a campo traviesa	2249 \pm 51	2271 \pm 61

Tabla 1. Resultados (media \pm SEM) de las pruebas de laboratorio y las pruebas de competencias simuladas realizadas al inicio (es decir, antes del período de intervención de 18 semanas).

* No se observaron diferencias significativas entre los grupos para ninguna de las variables ($p > 0,05$). vmax = velocidad de carrera máxima alcanzada durante las pruebas en cinta rodante; vVO₂max = velocidad de carrera en VO₂max; HRmax = Frecuencia cardíaca máxima; VT = Umbral ventilatorio; RCT = Umbral de compensación respiratoria.

Por otra parte, no se observaron diferencias significativas entre la intensidad del ejercicio (expresada como HR media (lat-min-1), HR media (expresada como % de HRmax) y HR máxima alcanzada durante la competencia) de la competencia simulada antes (pre) y después (post) del entrenamiento, respectivamente (Tabla 2). Los coeficientes de correlación entre ambas competencias para las variables mencionadas fueron altos y significativos: R=0,86 (p <0,001) para HR media (lat-min-1), R = 0,87 (p <0,001) para HR media expresada como % de HRmax, y R = 0,82 (p <0,05) para la HR máxima obtenida durante la competencia.

	Pre-training (n = 12)	Post-training (n = 12)
HR Media (lat min ⁻¹)	175±9	178± 9
HR Media (% HRmax)	91,1±2	92,5±2
HR pico (lat min ⁻¹)	185±12	186±11

Tabla 2. Comparación de la intensidad del ejercicio en las competencias simuladas pre y post entrenamiento en todos los sujetos (N = 12) *

* Los resultados se expresan en forma de Media±SEM. No se observaron diferencias significativas entre las medias (p > 0,05). HR = Frecuencia cardíaca; HRmax = Valor de HRmax en el test de laboratorio (Tabla1); HRpico = Valor de HR máxima obtenido durante cada competición simulada.

Cuantificación de la Carga de Entrenamiento

Ninguno de los 12 sujetos que completaron el estudio sufrió lesiones, se enfermó ni presentó señales de fatiga/sobre entrenamiento crónico (por ejemplo, valores máximos disminuidos de HR, dolor muscular crónico) durante el período de entrenamiento. Todos pudieron completar virtualmente 100% de sesiones de entrenamiento durante el programa de 5 meses planeado originalmente. La duración total acumulada de sesiones de entrenamiento durante el período experimental (semanas 4-21) tuvo un valor promedio de 95-110 horas por corredor (100 horas en Z1 vs. 75 horas en Z2) o 5 a 6 km-sem-1. Cuando se expresó en forma de distancia total de carrera, los sujetos alcanzaron un total de 1500 km (-85 km-sem-1).

Tal como fue diseñado, no se observaron diferencias significativas en la puntuación media total TRIMP ni en la puntuación media TRIMP semanal entre los grupos, lo que indica que la carga total de entrenamiento (intensidad x volumen) de ambos grupos fue similar durante el período de la intervención (Tabla 3). Sin embargo, tal como fue diseñado, se encontraron diferencias significativas entre los grupos en el tiempo de entrenamiento total y porcentual en las zonas 1 y 2 (p <0,01), pero ninguna diferencia significativa se observó en el tiempo de entrenamiento total y porcentual en la zona 3 (p > 0,05).

	Grupo Z1 (n=6) distribución establecida en zona 1, 2 y 3: Aprox. 80/10/10	Grupo Z2 (n=6) distribución establecida en zona 1, 2 y 3: Aprox. 65/25/10
TRIMPs Totales	8134±408	8277±463
Media TRIMP sem ⁻¹	452±23	460±26
Tiempo total en zona 1 (min)	5246±396	3830±215*
Tiempo total en zona 2 (min)	779±116	1411±95*
Tiempo total en zona 3 (min)	502±78	485±65
% Total en zona 1	80,5±1,8	66,8±1,1
% Total en zona 2	11,8±2,0	24,7±1,5*
% Total en zona 3	8,3±0,7	8,5±1,0*

Tabla 3. Resultados (media±SEM) de las cargas de entrenamiento durante el período de intervención de 18 semanas. *p < 0,01 para Z1 vs. Z2. Para mayor información sobre TRIMP y las zonas 1, 2 y 3 referirse al texto.

Aunque el tiempo de rendimiento mejoró significativamente en ambos grupos después del entrenamiento (p = 0,03 en

ambos casos) (Figura 1), la magnitud de la mejora fue significativamente mayor ($p = 0,03$; potencia estadística = 0,60) en Z1 que en Z2 (-157 ± 13 segundos vs. $-121,5 \pm 7,1$ segundos, respectivamente; diferencia en el aumento de la media entre Z1 y Z2: $-35,5 \pm 14,6$ segundos; 95% CI: -68,4 segundos; -3,3 segundos).

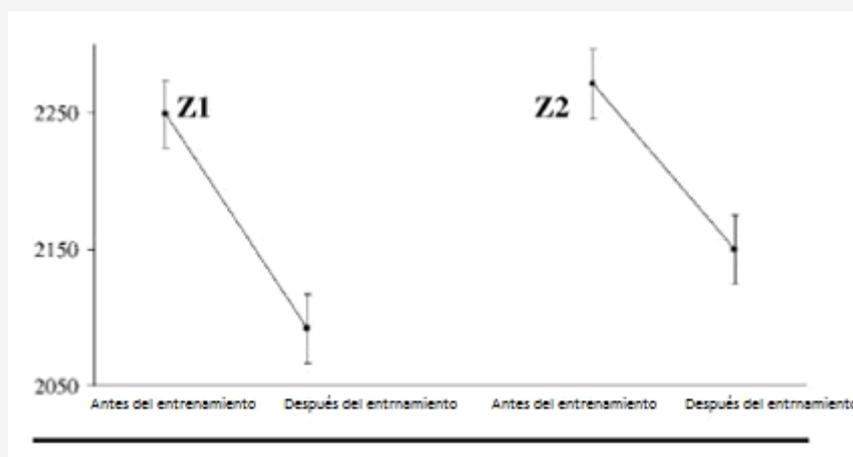


Figura 1. Cambio en el rendimiento después del período de entrenamiento durante la carrera simulada de 10,4 km a campo traviesa en ambos grupos.

DISCUSIÓN

El hallazgo fundamental de este estudio fue que en los atletas altamente entrenados que entrenaron durante un período de 5 meses, una distribución de la intensidad de entrenamiento basada en HR de 80 % en zona 1, 12 % en zona 2 y 8 % en zona 3 produce un rendimiento significativamente mayor que el producido por un programa en el cual el tiempo transcurrido en, o alrededor de la intensidad del umbral del lactato, fue duplicado a aprox.25 % mientras se mantiene constante el tiempo en la zona 3.

Éste es el primer estudio de entrenamiento aleatorizado, controlado que ha evaluado experimentalmente, a través de la cuantificación de cargas de entrenamiento reales, los efectos de aumentar o disminuir la contribución de la intensidad relativamente baja (zona 1) del entrenamiento en el rendimiento de atletas de resistencia altamente entrenados. Según nuestros conocimientos, sólo 2 estudios descriptivos recientes supervisaron continuamente y diariamente las cargas de entrenamiento reales por medio de métodos objetivos (registros de HR) durante períodos de entrenamiento cortos (32 días) (27) o largos (6 meses) en atletas de resistencia de competición (7). Aunque nuestros resultados no necesariamente desafían el principio clásico de la especificidad del entrenamiento, nuestros datos, junto con los datos de investigaciones previas (2, 7, 20, 21, 23, 26), apoyan la noción que en los atletas altamente entrenados, sólo una cantidad comparativamente pequeña de entrenamiento debe ser realizada en intensidades moderadas a altas (zonas 2 y 3) con el fin de alcanzar un rendimiento máximo y prevenir el sobre entrenamiento. En otros términos, parecería que el entrenamiento de relativamente baja intensidad (zona 1) es una parte esencial de cualquier programa de entrenamiento de resistencia competitivo.

Para el lector familiarizado con la literatura sustancial que involucra el entrenamiento de sujetos desentrenados en intensidades cercanas a su umbral de lactato, la observación cada vez mas probada (2, 7, 8, 22, 26-28) que los atletas de resistencia exitosos pasan un tiempo de entrenamiento comparativamente menor en la zona 2 puede parecer sorprendente. Previamente, uno de nosotros sintetizó estas observaciones proponiendo que los atletas de resistencia de élite tienden a auto organizar su entrenamiento de manera polarizada, y la mayoría de su entrenamiento se realiza claramente por debajo o por encima de la zona 2 del rango de intensidad pero con una cantidad de entrenamiento relativamente pequeña en esta zona intermedia (8, 27). Un punto de discusión que no ha podido ser aclarado es como cuantificar mejor la distribución de intensidad de entrenamiento. En el estudio presente, nosotros nos basamos en la HR para establecer la duración de la zona. Esta metodología registra todas las HR desde el inicio hasta el fin de cada sesión de entrenamiento sin tener en cuenta la naturaleza de las sesiones de entrenamiento realizadas. La fuerza de esta metodología es que todos los minutos del entrenamiento participan en la cuantificación. Una debilidad de esta metodología puede ser que el impacto de las

sesiones de alta intensidad tales como el entrenamiento intervalado sobre la distribución de carga de estrés diaria, se diluye por la considerable contribución de la HR en zona 1 y 2 incluso hasta en una sesión muy dura de entrenamiento intervalado de alta intensidad (entrada en calor, recuperación entre intervalos, enfriamiento). En respuesta a este problema, se ha descrito otra metodología de cuantificación que se focaliza más en la intensidad predominante de cada sesión de entrenamiento o metodología de meta de sesión (27). Al aplicarla al estudio actual, observamos que en el grupo ZI 74% de todas las sesiones fueron realizadas en la zona 1, 11% se realizaron principalmente en zona 2 y 15% de todas las sesiones que contenían entrenamiento intervalado o carreras de entrenamiento en zona 3. Esta distribución se aproximó a la distribución de intensidad polarizada observada previamente (2, 27, 29) en los atletas altamente entrenados durante un período de preparación duro.

El estudio actual aporta una contribución significativa a estos informes descriptivos previos al apoyar la hipótesis que un enfoque en el volumen de baja intensidad es realmente importante para aumentar al máximo las mejoras en el rendimiento en una prueba experimental. El control preciso del volumen y la carga de entrenamiento total utilizados en el estudio presente nos permite concluir que la distribución de la carga de entrenamiento en función de la intensidad y no sólo la carga de entrenamiento total o intensidad promedio de entrenamiento es un factor crítico para optimizar las mejoras en el rendimiento.

En el modelo de competencia que se seleccionó en este estudio (simulación de carrera de 10 km a campo traviesa), la contribución de la zona 3 (es decir, >90% de HRmax) es predominante ($\geq 85\%$ de tiempo total de la competencia). A pesar de este hecho, la baja intensidad de entrenamiento ocupa la mayoría del tiempo de entrenamiento. En estudios piloto realizados con los mismos sujetos, originalmente quisimos evaluar los efectos de aumentar la contribución de la zona 3 de entrenamiento, es decir, considerando hasta un 15% de tiempo total en la zona (es decir, volúmenes significativos de entrenamientos en zona 3 incorporados en 25-30% de todas las sesiones de entrenamiento). Se observó que este modelo de entrenamiento era demasiado exigente para que los sujetos lo siguieran por más de 2 a 3 semanas. Después de este tiempo, se observaron en todos los corredores señales de sobreentrenamiento a corto plazo/sobreentrenamiento (alteración en los patrones de sueño, recuperación insuficiente entre los entrenamientos diarios, aumento en el dolor muscular o incapacidad para alcanzar la zona 3 y el ritmo de carrera establecido durante los entrenamientos de alta intensidad). De manera similar, la contribución relativa de zona 3 durante eventos de resistencia altamente demandantes, como el Tour de Francia, no supera el 10% del tiempo de ejercicio (20). Por otro lado, aunque generalmente se recomienda entrenamiento de intensidad moderada (aprox. 55-85% HRmax) durante 20 a 60 minutos (por lo menos 3 días a la semana) para mejorar y mantener la aptitud cardiorrespiratoria en sujetos que no son atletas (1), la parte superior de esta zona de intensidad general (es decir, la zona 2, que corresponde a aprox. 70-90% HRmax en nuestros sujetos) parece demasiado exigente para atletas de resistencia (es decir, con un entrenamiento semanal medio ≥ 6 horas). Cuando se alcanza un cierto umbral (>20% del tiempo de entrenamiento de total), esta zona de intensidad no parece inducir adaptaciones beneficiosas adicionales a diferencia de lo que ocurre con un aumento en el tiempo en la zona 1.

Seiler y Kjerland (27) han propuesto que hay 2 modelos básicos de distribución de intensidad de entrenamiento que surgen de la literatura de investigación. A uno de ellos lo denominaron modelo del "umbral de entrenamiento" en el cual se pone una importancia especial en las sesiones de entrenamiento en intensidades cercanas al estado estable máximo de lactato, o sea, aprox. en la zona 2. Se ha demostrado que este modelo produce mejoras significativas en los sujetos desentrenados (5, 11, 14, 18). El otro modelo propuesto por Seiler y Kjerland es el llamado modelo de entrenamiento polarizado. Este modelo surge de un número limitado de observaciones publicadas en atletas de resistencia de élite, entre los que se incluye a remeros de clase internacional (8, 28, 29), esquiadores a campo traviesa (27), ciclistas de contrarreloj premiados con medallas de oro (26), y maratonistas internacionales de élite (2). Aunque difieren en la disciplina deportiva, todos estos estudios involucran a atletas que entrenan >10 a 12 horas por semana. Ellos sugieren que los atletas de alto rendimiento generalmente entrenan o en la zona 1 (representa aprox. el 75% del volumen de entrenamiento total) o por encima de RCT (10% del tiempo establecido en función de la HR en la zona o quizás 15% de sesiones de entrenamiento) pero un tiempo sorprendentemente pequeño en la intensidad del umbral (zona 2). Por ejemplo, Billat y colegas (2) informaron que maratonistas franceses y portugueses de élite (mejores tiempos de 2:06-2:10) sólo realizaron 4% de sus kilómetros de entrenamiento en ritmo de maratón que es esencialmente idéntico al primer umbral del lactato.

Así, el modelo de entrenamiento en el umbral (principalmente centrado en la zona 2) parecería más adecuado para poblaciones desentrenadas o ligeramente entrenadas, mientras que en atletas de resistencia, el pasar demasiado tiempo de entrenamiento en la zona 2 (>20%) a expensas de la zona 1 podría perjudicar el rendimiento en competencias, quizás a través de su impacto sobre el sistema nervioso autónomo. Nuestros datos experimentales apoyan la hipótesis que un modelo de entrenamiento polarizado puede ser óptimo para los atletas competitivos, siempre y cuando la contribución de la zona 3 se aproxime al 10% del tiempo total de entrenamiento (o 15% del total de sesiones de entrenamiento i.e 1 a 2 sesiones por semana en la zona 3) durante períodos de entrenamiento de mediano a largo plazo (>1 mes).

Estudios tanto de Australia (15) como de Sudáfrica (30) realizados con ciclistas de alto nivel han demostrado que el rendimiento en el entrenamiento responde positivamente a aumentos a corto plazo en la cantidad de entrenamiento de alta

intensidad realizado. Algo que comparten estos estudios es el hecho que al inicio los sujetos pasaban muy poco en la zona 2 o 3 y por consiguiente eran presumiblemente bastante sensibles al aumento a corto plazo en la carga de intensidad. Estos mismos estudios no apoyan una ventaja clara de un tipo de entrenamiento intensificado por encima de otro lo que sugiere que el impacto del entrenamiento de mayor intensidad puede ser bastante general, algo que se refleja los resultados previos de Daniels et al. (4), quienes demostraron una respuesta muy general al entrenamiento de mayor intensidad. La implicación de estos resultados es que las adaptaciones al entrenamiento de alta intensidad se producen bastante rápidamente y que las características de dosis respuesta del entrenamiento de alta intensidad pueden saturarse en volúmenes bastante bajos de entrenamiento. Parece razonable plantear la hipótesis que el rendimiento circulatorio central podría responder (y saturarse) rápidamente a los aumentos en la intensidad del entrenamiento, mientras que los cambios en el contenido mitocondrial del músculo esquelético, la densidad capilar y otras adaptaciones del músculo esquelético pueden tomar semanas o meses para saturarse (24). Así, desde la perspectiva de inducción de adaptación, los volúmenes sustanciales de entrenamiento de baja intensidad acoplados con pequeños volúmenes de entrenamiento de alta intensidad pueden mantener una combinación eficaz de estímulos de adaptación periférica y central. Aquí es importante señalar que el ejercicio de baja intensidad para el atleta altamente entrenado es directamente comparable al ejercicio de baja intensidad para sujetos desentrenados o ligeramente activos. La intensidad se cuantifica en relación al consumo del oxígeno máximo que a su vez está limitado por el rendimiento cardiovascular. Por consiguiente, en los atletas altamente entrenados con consumo de oxígeno máximo típicamente alto, una intensidad relativa dada corresponde a un mayor grado de activación muscular y flujo oxidativo en el músculo activo. Nosotros sospechamos que esta diferencia es importante para comprender la manera en que la intensidad del entrenamiento se auto organiza hacia un modelo polarizado en los atletas de resistencia altamente entrenados.

El entrenamiento induce adaptación pero también induce las respuestas al estrés. Controlar la distribución de la intensidad de entrenamiento puede significar un mecanismo para equilibrar estos 2 efectos. Una explicación alternativa para la cantidad comparativamente pequeña de entrenamiento de intensidad moderada a alta (zonas 2-3) realizada por los atletas serios, tiene que ver con la probabilidad de regulación por disminución del sistema nervioso simpático en respuesta a un gran volumen de ejercicio de alta intensidad. Hay evidencia que la actividad del sistema nervioso simpático se reduce después entrenamiento severo y prolongado y después de las competencias en atletas, algo consistente con un síndrome de agotamiento hormonal (19). Lehmann et al. (16) informaron disminuciones en la secreción de catecolaminas en atletas sobre entrenados. Aunque la densidad de receptores beta y la sensibilidad a las catecolaminas son generalmente más altas en atletas que en individuos sedentarios (17), el entrenamiento pesado produce evidencia de agotamiento de catecolaminas (16). Este modelo también puede ser consistente con una menor sensibilidad a las catecolaminas, tal como ha sido demostrado en los casos de sobre estimulación crónica o de estrés exhaustivo (3, 31). Dado que una consecuencia a una menor sensibilidad a las catecolaminas podría ser una disminución en el rendimiento cardíaco máximo y de la capacidad de desviar el flujo de sangre selectivamente a la musculatura activa y, dado que la regulación por disminución de los receptores beta sólo se esperaría en presencia de elevaciones crónicas de catecolaminas, es posible que exista un límite superior a la cantidad de entrenamiento de alta intensidad que puede ser tolerado durante cualquier período. Evidencia que apoya este concepto puede encontrarse en los valores de TRIMP fijos y minutos de ejercicio en zona 3 en el evento relativamente más largo como el Tour de Francia y en la relativamente mas corta Vuelta de España (10, 23). Como previamente mencionamos, estudios piloto de nuestro grupo con estos mismos corredores demostraron una tolerancia muy pobre a un programa de entrenamiento cuando la contribución de la zona 3 supera el 10% del tiempo de entrenamiento total.

Aplicaciones Prácticas

En resumen, nosotros observamos que una intensificación del entrenamiento para incluir una cantidad significativamente mayor de entrenamiento en el umbral del lactato o alrededor del mismo se asoció realmente con un aumento de rendimiento relativamente menor durante un período de entrenamiento de 5 meses en comparación con un grupo de atletas cuya organización de entrenamiento se enfocó más en la zona de volumen de entrenamiento de baja intensidad o zona 1 junto con volúmenes moderados de entrenamiento (~ 10%) en la zona 3.

Nuestros resultados no desafían necesariamente el principio clásico de especificidad de entrenamiento y es necesario tener presente que los datos presentes no proporcionan ninguna evidencia que los entrenamientos muy específicos (zona 3) que simulan la velocidad de la competencia no son fundamentales para alcanzar un rendimiento de máximo nivel. Más bien, nuestros datos sugieren que un viejo concepto de entrenamiento de "millas basura" no se aplica al entrenamiento de relativamente baja intensidad si no que al entrenamiento de moderada alta intensidad.

Los volúmenes grandes de entrenamiento en zona 2 o umbral para atletas altamente entrenados pueden ser inadecuados para estimular la adaptación cardiorrespiratoria adicional y pueden contribuir a la fatiga, potencialmente a través de la regulación por disminución del sistema nervioso simpático.

Una de las preguntas de entrenamiento principales para los entrenadores y atletas involucrados en los eventos de carreras

de fondo y medio fondo es si es mejor entrenar ligeramente más rápido durante un tiempo más corto o entrenar mucho más tiempo en intensidades leves. El hallazgo principal de este estudio fue que si los corredores entrenados aumentan más tiempo en las intensidades ligeramente altas (zona 2), no necesariamente desarrollan un paso de carreras más rápido. Los datos presentes sugieren que si el corredor puede dedicar más tiempo a las sesiones de entrenamiento diarias, sería mejor diseñar una distribución de cargas "fácil-dura" (aumentando la cantidad de entrenamiento de baja intensidad) que un enfoque de entrenamiento "ligeramente alto-duro" (gran contribución de la zona 2).

Estos resultados aportan el primer apoyo experimental directo a varios estudios descriptivos que informaron una organización de entrenamiento polarizada entre atletas de resistencia de élite. Para el entrenador de acondicionamiento, un mensaje neto puede ser que las sesiones de entrenamiento deportivo también deben intentar evitar realizar todas las sesiones a la misma intensidad para evitar estancamiento y deterioro. Las sesiones de entrenamiento más largas en intensidad más moderada deben ser equilibradas contra series de entrenamiento altamente demandantes ya sea en el campo o en la sala de pesas. Ambos niveles de intensidad en la combinación adecuada parecerían ser importantes para el desarrollo a largo plazo, aunque la combinación apropiada parecería incluir una cantidad relativamente mayor que la prevista de entrenamiento no específico de baja intensidad.

REFERENCIAS

1. American College of Sports Medicine. (1998). Position stand on the recommended quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory and muscular fitness, and flexibility in healthy adults. *Med. Sci. Sports Exerc.* 30:975-991.
2. Billat, V. L. , A. Demarle J. , Slawinski M. , Paiva and J. P. , Koralsztein. (2001). Physical and training characteristics of top-class marathon runners. *Med. Sci. Sports Exerc.* 33:2089-2097.
3. Brodde, O. E. , A. Daul, and N. , O'Hara. (1984). Beta adrenoreceptor changes in human lymphocytes induced by dynamic exercise. *Naunyn Schmiedebergs Arch. Pharmacol.* 325:190-192.
4. Daniels J. T. , RA. , Yarbrough and C. , Foster. (1978). Changes in V02max and running performance with training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 39:249-254.
5. Denis C, D. Dormois, and J. R. Lacour. (Endurance training, V02max, and OBLA: A longitudinal study of two different age groups. *Int. J. Sports Med.* 5:167-173.). 1984.
6. Doherty M. , L. , Nobbs and T. D. Noakes. (2003). Low frequency of the "plateau phenomenon" during maximal exercise in elite British athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 89:619-623.
7. Esteve-Lanao, J. , A. F. San Juan, C. P. Earnest, C. Foster and A. Lucia. (2005). How do endurance runners actually train? Relationship with competition performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:496-504.
8. Fiskestrand, A. and K. S. Seiler. (2004). Training and performance characteristics among Norwegian international elite rowers 1970-2001. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 14:303-310.
9. Foster C, J. A. Florhaug, J. , Franklin, L. Gottschall, LA. Hrovatin, S. Parker, P. Doleshal and C. Dodge. (2001). A new approach to monitoring exercise training. *J. Strength Cond. Res.* 15:109-115.
10. Foster C. , J. Hoyos, C. P. Earnest and A. Lucia. (2005). Regulation of energy expenditure during prolonged athletic competition. *Med. Sci. Sports Exerc.* 37:670-675.
11. Gaskill, S. E. , A. J. Walker, RA. Serfass, C. Bouchard, J. Gagnon, D. C. Rao, J. S. Skinner, J. H. Wilmore, and A. S. Leon. (2001). Changes in ven-tilatory threshold with exercise training in a sedentary population: The HERITAGE Family Study. *Int. J. Sports Med.* 22:586-592.
12. Gilman, M. B. The use of heart rate to monitor the intensity of endurance training. (1996). *Sports Med.* 21:73-79.
13. Jung, A. P. (2003). The impact of resistance training on distance running performance. *Sports Med.* 33:539-552.
14. Kindermann, W. , G. Simon, and J. Keul. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 42:25-34.
15. Laursen, P. B. , CM. Shing, J. M. Peake, J. S. Coombes, and D. G. Jenkins. (Interval training program optimization in highly trained endurance cyclists. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1801-1897). 2002.
16. Lehmann, M. , P. Baumgartl, C. Wiesanack, A. Seidel, H. Baumann, S. Fischer, U. Spori, G Gendrisch, R. Kaminski, and J. Keul. (1992). Training-overtraining: Influence of a defined increase in training volume vs training intensity on performance, catecholamines and some metabolic parameters in experienced middle and long-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 64:169-177.
17. Lehmann, M. , H. H. Dickhuth, P. Schmid, H. Porzig, and J. Keul. (1984). Plasma catecholamines, beta adrenergic receptors, and isoproterenol sensitivity in endurance trained and non-endurance trained volunteers. *Eur. J. Appl. Physiol.* 52:362-369.
18. Londeree, B. R. (1997). Effect of training on lactate/ventilatory thresholds: A meta-analysis. *Med. Sci. Sports Exerc.* 29:837-843.
19. Lucia, A. , B. Diaz, J. Hoyos, C. Fernandez, G. Villa, F. Bandres, and J. L. Chicharro. (2001). Hormone levels of world class cyclists during the Tour of Spain stage race. *Br. J. Sports Med.* 35:424-430.
20. Lucia, A. , J. Hoyos, A. Carvajal, and J. L. Chicharro. (1999). Heart rate response to professional road cycling: The Tour de France. *Int. J. Sports Med.* 20:167-172.
21. Lucia A. , J. Hoyos, J. Pardo and J. L. Chicharro. (2000). Metabolic and neu-romuscular adaptations to endurance training in

- professional cyclists: A longitudinal study. *Jpn. J. Physiol.* 50:381-388.
22. Lucia, A. , J. Hoyos, M. Perez, and J. L. Chicharro. (2000). Heart rate and performance parameters in elite cyclists: A longitudinal study. *Med. Sci. Sports Exerc.* 32:1777-1782.
 23. Lucia A. , J. Hoyos, A. Santalla, C. Earnest and J. L. Chicharro. (2003). Tour de France vs Vuelta a España: Which is harder? *Med. Sci. Sports Exerc.* 35:872-878.
 24. Saltin, B. , and P. D. Gollnick. (1983). Skeletal muscle adaptability: Significance for metabolism and performance. In: *Handbook of Physiology. L. D. Peachy, ed. Baltimore: Williams and Wilkins. pp. 555-631.*
 25. Saunders, P. U. , D. B. Pyne, R. D. Telford, and J. A. Hawley. (2004). Factors affecting running economy in trained distance runners. *Sports Med.* 34: 465-485.
 26. Schumacker, Y. O. , AND P. Mueller. (2002). The 4000-m team pursuit cycling world record: Theoretical and practical aspects. *Med. Sci. Sports Exerc.* 34:1029-1036.
 27. Seiler, K. S. , and G. O. Kjerland. (2006). Quantifying training intensity distribution in elite endurance athletes: Is there evidence for an 'optimal' distribution? *Scand. J. Med. Sci. Sports* 16:49-56.
 28. Steinacker, J. M. (1993). Physiological aspects of training in rowing. *Int. J. Sports Med.* 14Suppl 1:S3-S10.
 29. Steinacker J. M. , W. Lormes, M. Lehmann, and D. Altenburg. (1998). Training of rowers before world championships. *Med Sci Sports Exerc.* 30: 1158-1163.
 30. Stepto, N. K. , J. A. Hawley, S. C. Dennis, and W. G. Hopkins. (1998). Effects of different interval training programs on cycling time-trial performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 31:736-741.
 31. Tohmeh, J. F. and P. E. Cryer. (1980). Biphasic adrenergic modulation of beta receptors in man. *J. Clin. Invest.* 65:836-849.

Cita Original

Esteve-Lanao, J. , C. Foster, S. Seiler, and A. Lucia. Impact of training intensity distribution on performance in endurance athletes. *J. Strength Cond. Res.* 21(3):943-949. 2007