

apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



ORIGINAL

Evaluación de la adaptación a un entrenamiento de alta intensidad con diferentes estrategias de intervención en ciclistas

Pelayo Arroyo García^{a,*}, Carmen Vaz Pardal^b, Francisco Javier Ordoñez Muñoz^c
y Manuel Rosety Rodríguez^c

^a Escuela Profesional de la Medicina de la Educación Física y Deporte, Universidad de Cádiz, San Fernando, Cádiz, España

^b Centro Andaluz de Medicina del Deporte, San Fernando, Cádiz, España

^c Departamento de Anatomía y Embriología Humanas, Facultad de Medicina, Universidad de Cádiz, Cádiz, España

Recibido el 12 de octubre de 2011; aceptado el 22 de noviembre de 2011

Disponible en Internet el 21 de abril de 2012

PALABRAS CLAVE

Alta intensidad;
Antioxidantes;
Entrenamiento
regenerativo;
Recuperación;
Entrenamiento;
Ciclistas

Resumen El entrenamiento regenerativo está siendo de gran interés tanto para entrenadores como para atletas, ya que puede evitar situaciones de sobrecarga o sobreentrenamiento y mejorar el rendimiento. Así, el objetivo de este estudio preliminar fue evaluar la adaptación de un mismo protocolo de entrenamiento de alta intensidad unido a diferentes estrategias de recuperación sobre variables bioquímicas y de rendimiento en ciclistas amateurs. Quince ciclistas hombres con una edad media de $36,18 \pm 5,30$ años fueron asignados de forma dirigida a tres diferentes grupos: regenerativo-plus (RP, n = 6): entrenamiento interválico intensivo (EII) combinado con sesiones de baja intensidad (50% VO_{2max}) más la suplementación de antioxidantes; regenerativo (R, n = 5): EII combinado con sesiones de baja intensidad al 50% VO_{2max} ; control (C, n = 4): descanso. Realizaron un EII combinado con sesiones de baja intensidad durante 20 días. Antes y después de la aplicación del protocolo se midieron parámetros bioquímicos (bicarbonato [HCO_3], lactato [La], pH y presión parcial del dióxido de carbono [PCO_2]) y parámetros de rendimiento (potencia máxima [P_{max}], resistencia aeróbica [RA] y consumo máximo de oxígeno [VO_{2max}]). Se observó un aumento significativo en la potencia máxima aplicada, sin diferencias en las diversas situaciones estudiadas. En cuanto a la resistencia aeróbica y VO_{2max} , no se observaron mejoras significativas en ninguno de los grupos. Respecto al estado metabólico, solo se observó una menor concentración de lactato (no significativa) tras la aplicación del protocolo en el grupo RP. Los resultados sugieren que este protocolo unido o no a la suplementación de antioxidantes podría ser una estrategia adecuada para asimilar determinadas cargas de entrenamiento.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

* Autor para correspondencia.

Correo electrónico: pelayo.arroyo@uca.es (P. Arroyo García).

KEYWORDS

High intensity;
Antioxidants;
Regenerative
training;
Recovery;
Training;
Cyclists

Assessment of adapting to high intensity training by cyclists using different strategies

Abstract Regenerative training is very important for trainers and athletes as it could avoid problems of overreaching or overtraining, as well as improve performance. Thus, the aim of this study was to evaluate the effect of a high intensity training protocol combined with recovery sessions on biochemical and performance parameters in amateur cyclists. A total of 15 male cyclists with a mean age of 36.18 ± 5.30 years were assigned to one of three groups: regenerative-plus (RP): high intensity training (EII) with low intensity training (50% VO_{2max}) and antioxidant supplements; regenerative (R): EII with low intensity training to 50% VO_{2max} ; control (C): rest. They performed an EII combined with low intensity recovery sessions for 20 days. Several biochemical parameters (bicarbonate [HCO_3], lactate [La], pH and partial pressure of carbon dioxide [PCO_2]) and performance parameters (maximum power [P_{max}], aerobic capacity [RA] and maximum uptake oxygen [VO_{2max}]) were measured before and after applying the protocol. Significant increases were observed in the maximum power with no differences between the different situations. No significant changes were seen in the endurance or VO_{2max} in either group. As regards metabolic state, a lower lactate concentration (not significant) was observed after application of protocol in group RP. It may be concluded that this protocol with or without antioxidant supplements could be an option to assimilate particular training loads.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

En los últimos años, el desarrollo científico en ciencias de la actividad física y del deporte y medicina del deporte se ha caracterizado por una acumulación irrefrenable de nuevos hechos experimentales, por el descubrimiento de nuevas reglas fundamentales y por la aparición de nuevas concepciones y teorías. De esta manera, el mayor conocimiento en este campo ha permitido un aumento de la mejora de la salud del deportista y de su capacidad de rendimiento, con una mejor asimilación de las cargas, adaptándose más fácilmente a ellas y, por lo tanto, alcanzando un nivel de desarrollo más elevado de las cualidades motrices.

La investigación científica en el campo del deporte, en el cual los controles de rendimiento y la utilización de diversos test han servido como método científico de investigación, ha contribuido a capacitar al entrenador para captar mejor el estado de entrenamiento del deportista y su desarrollo, además de ser capaz de organizar y planificar el entrenamiento de manera que exista un equilibrio entre carga de entrenamiento y recuperación.

El deportista de élite se caracteriza por su capacidad de asimilar grandes volúmenes de trabajo y además por su capacidad de recuperación. Sobrecargar a los deportistas puede ser un requisito previo al éxito de su carrera deportiva y, por lo tanto, es utilizado a menudo por entrenadores y atletas. Aun así, siempre se debe cuidar muy bien las cargas que se les aplica a los deportistas, ya que, como observó Halson¹, tan solo en dos semanas de entrenamiento interválico intenso (EII) se puede observar una disminución en la frecuencia cardíaca máxima (FC_{max}), una disminución de la influencia simpática o parasimpática y una disminución en el número y densidad de los receptores adrenérgicos, dando lugar a una menor capacidad en la potencia máxima (P_{max}), así como un empeoramiento en los resultados del consumo máximo de

oxígeno (VO_{2max}) si el tiempo de recuperación es limitado o está mal distribuido en la planificación de su entrenamiento.

Actualmente en el ámbito científico existe un gran interés por conocer más sobre el entrenamiento regenerativo, ya que puede ser un factor decisivo que puede llevar a un atleta a ser capaz de asimilar bien las cargas de entrenamiento o, por el contrario, padecer el síndrome de sobreentrenamiento. Parece ser que la utilización de la recuperación activa frente a la recuperación pasiva para regenerar el organismo del deportista sigue siendo un misterio²⁻⁵.

Así, Noakes⁶ argumenta que equilibrar periodos de completa recuperación con periodos de recuperación activa mejora los procesos de recuperación, que a su vez permitiría llevar a cabo un gran esfuerzo durante entrenamientos duros o una competición.

Actualmente hay una falta de normas establecidas respecto al entrenamiento regenerativo, como: qué método se debe utilizar; la duración de la recuperación, ya sea pasiva o activa; la intensidad óptima; la frecuencia, etc. Por lo tanto, sugiere una mayor investigación para determinar qué método de recuperación es el más adecuado tras una sesión de entrenamiento, competición o periodo de entrenamiento de alta intensidad⁷. Las recomendaciones para el diseño de regímenes adecuados de recuperación son muy escasas y su práctica totalidad se basan en consideraciones teóricas y experiencias adquiridas en la práctica⁸.

El objetivo de este estudio fue evaluar la adaptación a un programa de entrenamiento combinado con diferentes metodologías de recuperación y así dar un paso en poder resolver estas incógnitas.

Material y métodos

Este estudio se desarrolló gracias a una colaboración entre el Centro Andaluz de Medicina del Deporte (CAMD) de San

Fernando (Cádiz), el Instituto MEDSPORT S.L (Cádiz) y la Facultad de Medicina de la Universidad de Cádiz.

Desde un punto de vista bioético, nuestro proyecto respetó escrupulosamente lo dispuesto en la Ley 14/2007, 3 de julio, de Investigación Biomédica y fue aprobado por el Comité de Ética Institucional de la Universidad de Cádiz.

Sujetos

Fueron estudiados 15 ciclistas varones procedentes del Club Ciclista Benacazón (Sevilla) y del Club Ciclista Portuense (Cádiz) de nivel amateur con una edad media de $36,18 \pm 5,30$ años que competían a nivel regional y nacional (tabla 1). Estos dedicaban entre 10 y 12 h semanales al entrenamiento y nunca habían sido asesorados por licenciados en educación física ni médicos deportivos para seguir un plan de entrenamiento personal.

Tras una reunión en la que se informó a los participantes de los objetivos y de la finalidad del estudio, de las pruebas que debían realizar, del lugar en el que se desarrollarían las actividades y de la duración del protocolo, se entregó a todos los sujetos un consentimiento informado, elaborado por el propio equipo investigador, el cual fue firmado por todos ellos para participar en este proyecto.

Antes de iniciar el estudio, y para asegurar una práctica segura y saludable, se sometió a todos los participantes a un reconocimiento médico que consistió en una historia clínica con antecedentes familiares y personales, un examen físico y la realización de pruebas complementarias: electrocardiograma (ECG) en reposo, impedanciometría, espirometría y toma de la presión arterial. Los resultados fueron normales, y entre los participantes no se encontró contraindicación alguna para la práctica deportiva.

Todos los sujetos que participaron en este estudio cumplieron los siguientes criterios de inclusión (en caso contrario, fueron excluidos del mismo):

- No detectar ninguna contraindicación para la práctica deportiva en las pruebas realizadas en el reconocimiento médico.
- No debían estar siguiendo un programa de suplementación ajeno a la investigación.
- Debían llevar al menos dos semanas sin realizar entrenamientos de tipo anaeróbico previo al estudio.
- Debían haber seguido una rutina de entrenamiento previa al estudio de al menos un año.

Así, los participantes fueron distribuidos de forma dirigida en tres grupos ajustados a la edad, al índice de masa corporal (IMC) y al nivel de entrenamiento:

- Grupo regenerativo-plus (RP) (n = 5): llevó a cabo el entrenamiento regenerativo junto con la suplementación de antioxidantes.
- Grupo regenerativo (R) (n = 6): solo realizó el entrenamiento regenerativo.
- Grupo control (C) (n = 4): descanso.

Diseño experimental

Protocolo de actividad física

En el diseño del protocolo de actividad física se respetaron los principios del entrenamiento deportivo para que las adaptaciones se produjeran sin riesgos. Se ajustó la densidad de la carga (tiempo de trabajo: tiempo de descanso) para poder llevar a cabo sesiones de entrenamiento de alta intensidad con el objetivo de provocar adaptaciones que mejorasen el rendimiento del deportista y evitar así posibles riesgos de caer en un estado crónico de sobrecarga o síndrome de sobreentrenamiento.

Durante el calentamiento y la vuelta a la calma prestamos gran importancia a la realización de ejercicios y estiramientos, con vistas a reducir el riesgo de padecer lesiones osteomusculares que pudiesen erosionar la imagen saludable del deporte en nuestra sociedad. Se tuvieron en cuenta las aportaciones de un grupo multidisciplinar en el que, además de médicos de la educación física y el deporte, participaron licenciados en educación física.

El protocolo de intervención comprendió un total de 20 días (fig. 1). Los tres primeros días se destinaron a un entrenamiento por terreno llano de una hora de duración a una intensidad del 60% VO_{2max} para alcanzar unas condiciones similares en todos los participantes⁸.

Tras estos 3 días siguió un periodo de entrenamiento de 17 días en el que se llevó a cabo una metodología de entrenamiento de alta intensidad y corta duración combinada con sesiones de recuperación. La duración por sesión media total fue de 124 min, y solo hubo un día (8.º día) de descanso total para todos los grupos. Las sesiones de baja intensidad (50% VO_{2max}) y corta duración (1 h) se llevaron a cabo por terreno llano tanto para el grupo RP como para el R; para el grupo C eran sesiones de descanso total y solo pudieron realizar actividades de la vida diaria⁸.

La distribución de la carga en el protocolo de intervención quedó establecida de la siguiente manera⁸:

- El 20% se invirtió en entrenamientos con una intensidad de 55% VO_{2max} .
- El 65% se invirtió en entrenamientos con una intensidad de 65% VO_{2max} .
- El 10% se invirtió en entrenamientos con una intensidad de 75% VO_{2max} .
- El 5% se invirtió en entrenamientos con una intensidad de 90% VO_{2max} .

La intensidad de entrenamiento para las diferentes sesiones (basada en la frecuencia cardiaca) se estableció a partir de porcentajes del VO_{2max} gracias a la relación existente entre ambos parámetros⁹ (obtenida en la prueba de esfuerzo pre-protocolo). El VO_{2max} está considerado un indicador válido de la función integrada de la respiración y de los sistemas cardiovascular y muscular durante el ejercicio y tiene un papel determinante en el rendimiento¹⁰.

Suplementación de antioxidantes

La metodología utilizada en nuestro estudio, tanto en la duración como en la dosis administrada, fue elegida de un estudio de Packer et al.¹¹, que consistió en administrar una vez al día en el desayuno 500 mg de vitamina C

Tabla 1 Características físicas iniciales de los sujetos (media $\pm$ desviación estándar)

	Grupos		
	RP	R	C
Peso (kg)	72,9 $\pm$ 5,62	73,43 $\pm$ 4,92	71,75 $\pm$ 5,5
Talla (cm)	174,33 $\pm$ 4,84	174 $\pm$ 2,28	177 $\pm$ 4,69
IMC	24,61 $\pm$ 1,32	24,27 $\pm$ 1,94	22,91 $\pm$ 1,88
Edad	33,83 $\pm$ 2,13	35,5 $\pm$ 6,22	33,25 $\pm$ 6,5

IMC: índice de masa corporal.

y 400 U.i. de vitamina E. Se considera que es una recomendación razonable para atletas que entrenan a una intensidad moderada-fuerte.

En nuestro protocolo se suplementó al grupo RP durante el desayuno en los días correspondientes a las sesiones de baja intensidad (50% VO_{2max}), que coincidieron en últimos 4 días del protocolo, con el objetivo de evaluar el modo en que las vitaminas antioxidantes pueden influir en las variables objeto de estudio (La, pH, HCO_3^- , PCO_2 , RA, VO_{2max} y P_{max}) entre el inicio del protocolo y el final del mismo.

Recogida de parámetros

Antes de empezar nuestro protocolo medimos parámetros relacionados con el rendimiento de los sujetos: VO_{2max} y P_{max} a través de una prueba de esfuerzo en cicloergómetro (Ergo-Line GmbH + CoKG, modelo Jaeger ER-900, Alemania). Se determinó el umbral anaeróbico a través de la metodología de Wasserman mediante el comportamiento de los equivalentes tanto del oxígeno ($EqVO_2$) como del dióxido de carbono ($EqVCO_2$) en una prueba incremental. El protocolo utilizado en la prueba de esfuerzo consistió en un calentamiento previo a 50 vatios (W) de 3 min. Tras terminar el calentamiento se fue aumentando la intensidad 30 W cada minuto hasta el agotamiento. La recuperación tras finalizar la prueba se realizó a una intensidad de 25 W durante 3 min.

El análisis de gases espirados «respiración a respiración» se mantuvo desde el inicio de la prueba hasta finalizarla. Se

utilizó un analizador de gases modelo CPX (Cardinal Health, 234 GmbH, Leibnizstrasse 7, D-97204 Hoechberg, Alemania). Para el análisis de parámetros séricos bioquímicos (pH, La, PCO_2 , HCO_3^-) se utilizó un analizador clínico portátil, con una reproductibilidad previamente contrastada¹²⁻¹⁵ (i-STAT® Abbott Laboratories, Abbott Park, IL, EE. UU.), el cual utilizó un reducido volumen de muestra (95 μ l) de la yema de los dedos, limpiando previamente bien la zona para evitar la contaminación de la muestra con sudor, puesto que el nivel de lactato en sudor es superior a la concentración de lactato en sangre^{16,17}. Las tomas se realizaron en reposo y en los minutos 1 y 3 de recuperación.

Conviene precisar que estas pruebas se realizaron en dos ocasiones: 3 días antes del protocolo y a los 3 días de haberlo finalizado.

Análisis de los datos

Se calculó la media y la desviación típica para las variables antropométricas. Para comparar los resultados entre el inicio y final del protocolo con las diferentes estrategias, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) de un factor, estableciendo el nivel de significación en un valor de $p < 0,05$. Para conocer entre qué variables existían diferencias, se llevó a cabo un análisis *post hoc* de Bonferroni, ajustando el valor de significación estadística ($p < 0,05$). Todos los datos fueron analizados usando el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versión 15.0.

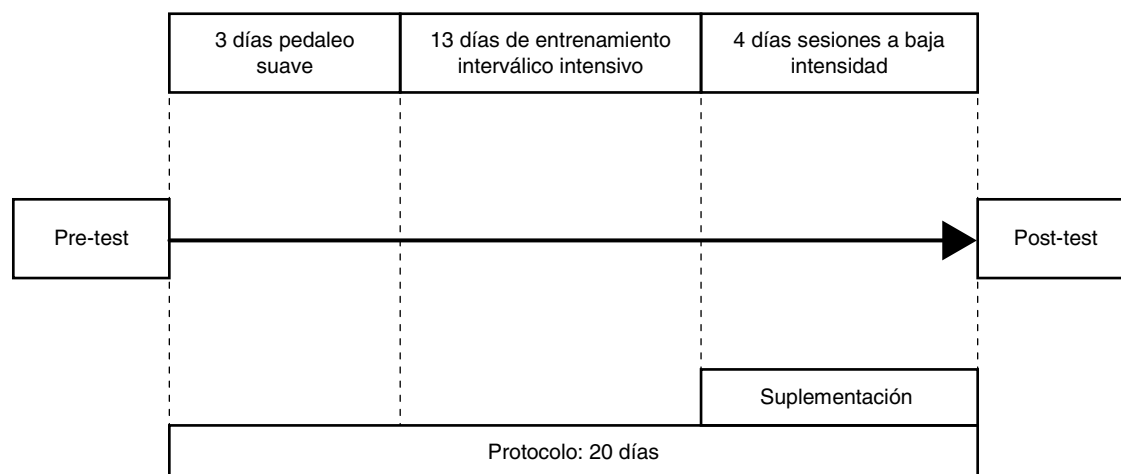
**Figura 1** Esquema del protocolo de actividad física y regenerativo.

Tabla 2 Comparación de medias del comportamiento de las variables de rendimiento antes y después de aplicar el protocolo de intervención mixto

Variables	Grupos					
	RP (n = 5)		R (n = 6)		C (n = 4)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
P _{max} (W)	401,66	406,66	388,33	398,33	437,5	445
U _{ana} (% VO _{2max})	86	88,6	87,16	85,16	85,5	86,25
VO _{2max} (ml/min/kg)	56,71	56,46	57,36	57,72	58,15	56,71

P_{max}: potencia máxima aplicada en una prueba de esfuerzo; U_{ana}: umbral anaeróbico; VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno.

Resultados

En la [tabla 2](#) se observa que la P_{max} tiende a aumentar después de la aplicación del protocolo en el grupo RP, en el R y en el C de 5, 10 y 8 W, respectivamente. Por otro lado, la resistencia aeróbica, valorada a través del porcentaje del VO_{2max} que se alcanza en el U_{ana}, no presentó mejoras significativas, aunque se observó una mejora en RP de 2,93% y en C de 0,88%, mientras que en el grupo R disminuyó en un 2,29%.

Como se observa en la [tabla 3](#), los cambios en la P_{max} fueron significativos ($p < 0,05$) en los grupos RP, R y C.

En la [tabla 4](#) se observa que en los sujetos del grupo RP, aun incrementando la P_{max} al finalizar la prueba de esfuerzo (tras la aplicación del protocolo), la concentración de lactato en sangre disminuyó, manteniéndose el pH sanguíneo constante, a diferencia del grupo R (en el que tanto la concentración de lactato como el pH se mantuvieron constantes) y en el grupo C (en que la concentración de lactato aumentó en ~1 mmol/l y el pH disminuyó).

Podemos observar, además, que la concentración de HCO₃ post-esfuerzo aumentó en los grupos RP y R en 1.033 y 1.06 mmol/l, respectivamente, mientras que los resultados del grupo C fueron diferentes, es decir, finalizaron la prueba en un estado metabólico ligeramente más ácido y la concentración de HCO₃ disminuyó en 1.025 mmol/l. Sin embargo, los datos de PCO₂ parecen que mejoran en la misma proporción en los tres grupos.

Aunque se observan cambios ([tabla 4](#)) en las diferentes variables anteriormente comentadas, en la [tabla 3](#) se puede ver que los resultados no fueron significativos ($p > 0,05$).

Se observan diferencias significativas entre el grupo RP, R y C en cuanto a la concentración de lactato y estado total antioxidante (TAS) después de la aplicación del protocolo (ver [tabla 5](#)).

Discusión

Este estudio se desarrolló con el propósito de conocer si la metodología desarrollada, basada en entrenamiento para la mejora de la resistencia combinado con sesiones de baja intensidad, es la estrategia más acertada para conseguir una mejor adaptación al esfuerzo realizado.

Estudios previos han desarrollado trabajos con ciclistas profesionales, pero pocos son los que han estudiado sujetos con un perfil similar a los que han participado en este estudio, es decir, ciclistas de nivel amateur. Además, este estudio presenta diferencias en cuanto al número total de sujetos participantes y también en el número de sujetos por grupo, así como la duración del protocolo de actividad física.

Nuestros resultados sugieren que sesiones de EI aumentan la P_{max} y mantienen constante tanto la resistencia aeróbica como el VO_{2max}¹⁸ además del pH sanguíneo en un periodo de entrenamiento de 20 días. Sin embargo, se observa un aumento de la concentración de HCO₃ de reserva y una reducción en la concentración máxima de La (no significativa), lo que nos puede hacer pensar que hubo un menor uso de las vías energéticas glucolíticas a iguales intensidades de trabajo después de la aplicación del protocolo. Dado que las pruebas de esfuerzo realizadas tras la finalización

Tabla 3 Valor de p para las variables séricas y de rendimiento

Variables	Grupos		
	RP (n = 5)	R (n = 6)	C (n = 4)
La (mmol/l)	0,855	0,948	0,147
HCO ₃ (mmol/l)	0,547	0,230	0,287
pH	0,451	0,493	0,105
P _{max} (W)	0,004	0,004	0,002
U _{ana} (% VO _{2max})	0,226	0,675	0,432
VO _{2max} (ml/min/kg)	0,319	0,948	0,147

La: lactato; HCO₃: bicarbonato; P_{max}: potencia máxima aplicada en una prueba de esfuerzo; U_{ana}: umbral anaeróbico; VO_{2max}: consumo máximo de oxígeno.

Tabla 4 Comparación de los valores medios, post-prueba de esfuerzo, del comportamiento de las variables bioquímicas pre y post protocolo

Variables	Grupos					
	RP (n = 5)		R (n = 6)		C (n = 4)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
La	9,633	9,400	12,300	12,320	13,875	14,500
HCO ₃ (reserva)	14,667	15,700	13,060	14,120	11,875	10,850
pH	7,257	7,225	7,156	7,170	7,192	7,115
PCO ₂	34,233	37,200	36,780	38,480	30,850	33,475

HCO₃: bicarbonato; La: lactato; PCO₂: presión arterial del dióxido de carbono.

del protocolo (3 días después) fueron máximas, podríamos descartar que la menor concentración de lactato se deba a una depleción de los almacenes de glucógeno.

Por otro lado, se observó una menor disminución de la PCO₂ en todos los grupos¹⁹ tras la aplicación del protocolo, lo que sugiere que la capacidad para la compensación respiratoria de la acidosis post-ejercicio mejoró, aunque no significativamente. Estos datos nos hacen pensar que en este caso la suplementación con vitaminas C y E no tuvo ningún efecto sobre las variables objeto de estudio²⁰ y que las adaptaciones observadas solo fueron resultado del entrenamiento.

Se observó que un periodo de 17 días de entrenamiento combinado con sesiones de baja intensidad podría ser el método más adecuado para mejorar la P_{max}^{21,22}, sin que se observaran cambios en el VO_{2max}²³, lo que contradice los resultados obtenidos por Norris et al.

Por otra parte, la RA de los sujetos permaneció invariable, es decir, el protocolo de entrenamiento no incrementó dicha resistencia, como afirman Weber y Schneider²³, lo que sugiere que quizás la duración del protocolo de entrenamiento no fue la adecuada, ya que solo el 5% de la carga se invirtió en entrenamientos a una intensidad del 90% VO_{2max}, o que los ciclistas tenían poco margen de mejora en su rendimiento.

No se observó, tras el protocolo, ningún aumento significativo en el VO_{2max}, mientras que, por otro lado, en el grupo C disminuyó en un 4,5%¹. El que no existiesen mejoras en el VO_{2max} podría explicarse, primero, por la duración del protocolo (no existen mejoras tras periodos de entrenamiento interválico intensivo de una duración menor a las 3 semanas)^{24,25}, y segundo, como en el caso de la resistencia

aeróbica, por el corto periodo de tiempo que se entrenó a intensidades muy próximas al 100% VO_{2max}.

Aunque muchos estudios han afirmado que existen incrementos en el VO_{2max} después de 14 hasta 24 sesiones de EI desarrollado entre 2 y 8 semanas^{26,27}, la intensidad más adecuada para provocar cambios en el VO_{2max} la revela Wisloff et al.²⁶, quien afirma que el entrenamiento por intervalos a alta intensidad (85-95% VO_{2max}) induce mayores efectos beneficiosos en el corazón, si se compara con un entrenamiento de moderada o baja intensidad.

Por otro lado, científicos especialistas en este campo indican, tras observar las respuestas fisiológicas con el aumento de la intensidad, que la intensidad óptima para mejorar el VO_{2max} es entrenar al 100% VO_{2max} o muy cerca²⁹. En conclusión, podemos decir que las mejoras en el VO_{2max} son dependientes de la intensidad²⁸ y de la duración del protocolo, lo cual explicaría la ausencia de mejoras en el VO_{2max} con la aplicación de nuestro protocolo (solo el 5% del entrenamiento se realizó a una intensidad superior al 90% del VO_{2max}).

Podemos pensar que el aumento de la P_{max} en el presente estudio se podría deber a que con el entrenamiento disminuyera el aporte energético a partir del metabolismo anaeróbico y tuviese mayor protagonismo el metabolismo aeróbico, existiendo así una menor dependencia de la glucólisis anaeróbica y, por lo tanto, una menor producción de ácido láctico y concentración de iones de hidrógeno (H⁺)³⁰.

La capacidad de eliminar el La muscular y la capacidad de la musculatura de mantener cierta concentración de lactato desempeñan un papel clave en la potencia del ciclista³¹. El EI, caracterizado por series cortas de alta intensidad y recuperaciones largas, puede mejorar el rendimiento al

Tabla 5 Análisis *post hoc* de Bonferroni tras la aplicación del protocolo

Variable	(I)GR	(J)GR	Media	Error típico de la media	95% Intervalo de confianza para la diferencia		Significación (bilateral)
					Inferior	Superior	
[La] post-protocolo (mmol/l)	RP	C	-5,100	1,4945	-9,254	-0,946	0,015
		R	-2,920	1,402	-6,817	0,977	0,178
TAS post-protocolo	RP	C	0,9733	0,0375	0,873	1,073	0,000
		R	0,596	0,0352	0,502	0,690	0,000

[La]: concentración de lactato; TAS: estado antioxidante total.

reducir la concentración de H^+ y mejorar la eliminación de $La^{4,32}$.

Después de la aplicación de nuestro protocolo en el grupo RP se observó una disminución (no significativa) en la concentración de La en sangre de $\sim 1 \text{ mmol/l}^{28}$. Aunque esta puede variar por la duración del ejercicio, por la intensidad, por los cambios de ritmo, por la técnica, por la dieta y por el contenido de glucógeno muscular³³, y a pesar de la controversia en la literatura, es ampliamente aceptado que, directa o indirectamente, una reducción más rápida de la concentración de La acelera la recuperación y mejora el rendimiento para un esfuerzo posterior³⁴.

Los resultados de este estudio sugieren que la menor concentración de La después de la aplicación del protocolo de EI se debió a una mayor utilización de las vías aeróbicas y no a un insuficiente tiempo de recuperación que provocase que los depósitos de glucógeno estuviesen vacíos, ya que en las pruebas de esfuerzo todos los sujetos alcanzaron su frecuencia cardíaca máxima e incluso aumentaron su $P_{\text{máx}}$.

Una concentración más baja de La en sangre, con una intensidad de trabajo similar, después de un protocolo de entrenamiento de resistencia —aunque no se midió en este estudio— sugiere que podría deberse a una mayor capacidad por parte de las mitocondrias para oxidar grasas.

Se ha demostrado que el contenido mitocondrial y la actividad enzimática del músculo se incrementan después del entrenamiento, y esto puede ser responsable en parte de la reducción de la tasa de utilización de glucógeno y de glucosa durante el ejercicio³⁵.

Por otro lado, la suplementación de antioxidantes entre atletas está bien documentada. Los resultados de diferentes estudios son a menudo contradictorios por las vitaminas utilizadas y la dosis, aunque muestran que el uso combinado de vitaminas tiene mejores efectos que la suplementación con una única vitamina^{36–38}. Además, es particularmente importante suplementar durante periodos de entrenamientos intensos y/o competición que pueden ocasionar mayores necesidades de antioxidantes^{36,39}. Existen estudios que generalmente muestran un incremento del estrés oxidativo después de un ejercicio supramáximo, como pueden ser: ejercicios interválicos, esprints, saltos o serie de saltos^{40–47}.

Así, en este estudio se utilizó una suplementación combinada de antioxidantes (vitaminas C y E) que no mejoró el rendimiento en el grupo RP^{36,38,48–51} si se valora sobre cambios en el $VO_{2\text{máx}}$. Aunque la suplementación con antioxidantes no mejoró el rendimiento, tampoco lo empeoró. Son muchos los estudios que han utilizado la suplementación de vitaminas antioxidantes y no han observado alguna mejora en el rendimiento en atletas que no tienen deficiencias^{48–51}. A partir de nuestros datos podríamos pensar que los sujetos que participaron en este estudio no estaban en un estado deficitario de las vitaminas suministradas.

Generalmente se cree que si persiste un desequilibrio entre entrenamiento y recuperación, este puede dar lugar a una acumulación de estrés por entrenamiento, provocando un empeoramiento del rendimiento⁵². Así, a partir de los datos, parece que cualquiera de las estrategias utilizadas sería adecuada para evitar un posible empeoramiento significativo ($p < 0,05$) del rendimiento.

Existen algunos estudios que evidencian que hay una relación positiva entre la disminución del ácido láctico y el

descenso de marcadores de estrés oxidativo^{45,53}. En nuestro estudio se observó una diferencia significativa (ver [tabla 5](#)) entre el grupo RP y el grupo C en cuanto a la concentración de La y el estado total antioxidante (TAS) ($p = 0,015$ y $p = 0,000$, respectivamente), y comparado con el grupo R solo se observó una diferencia significativa en la variable TAS ($p = 0,000$), confirmando así los resultados de estudios previos^{45,53}.

La reducción de la capacidad de nuestro sistema antioxidante inducida por el ejercicio se ha observado en otros estudios³⁷ que sugieren que una acumulación de ejercicio intenso puede provocar un aumento del estrés oxidativo, y que esto puede ser el origen de un estado de fatiga y posibles lesiones⁵³. En este estudio no se registró ningún abandono por lesión, ni se observó en el grupo RP a través de las variables de rendimiento un estado de fatiga, ya que el $VO_{2\text{máx}}$ se mantuvo estable y la $P_{\text{máx}}$ mejoró significativamente ($p < 0,05$). Si la capacidad de recuperación individual se ve reducida por un continuo estrés por entrenamiento, podría contribuir a una mala adaptación fisiológica, biomecánica y psicológica; en definitiva, a la aparición del sobreentrenamiento^{54,55}.

Por lo tanto, y a modo de conclusión, entendemos que nuestro protocolo de entrenamiento de alta intensidad, combinado con diferentes estrategias de recuperación, ha producido el mismo efecto sobre el rendimiento, independientemente de la metodología de trabajo usada durante los días de recuperación. Sin embargo, a la vista de los resultados sugerimos que, para mejorar el TAS tras un protocolo de entrenamiento de alta intensidad, la suplementación combinada de vitamina C y E durante las sesiones de recuperación podría ser una estrategia adecuada.

Sugerimos seguir en esta misma línea de investigación, aumentando la muestra y/o el protocolo de actividad física, separando el periodo de entrenamiento del periodo de recuperación, de manera que podamos evaluar con más precisión si la metodología utilizada favorece la adaptación al esfuerzo.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Halson SL, Bridge MW, Meeusen R, Busschaert B, Gleeson M, Jones DA, et al. Time course of performance changes and fatigue markers during intensified training in trained cyclists. *J Appl Physiol*. 2002;93:947–56.
2. Coffey V, Leveritt M, Gill N. Effects of recovery modality on 4-hour repeated treadmill performance and changes in physiological variables. *J Sci Med Sport*. 2004;7:1–10.
3. Dupont G, Berthoin S. Time spent at a high percentage of $VO_{2\text{máx}}$ for short intermittent runs: Active versus passive recovery. *Can J Appl Physiol*. 2004;29:3–16.
4. Spierer DK, Goldsmith R, Baran DA, Hryniewicz K, Katz SD. Effects of active versus passive recovery on work performed during serial supramaximal exercise tests. *Int J Sports Med*. 2004;25:109–14.
5. Spencer M, Bishop D, Dawson B, Goodman C, Duffield R. Metabolism and performance in repeated cycle sprints: Active vs. passive recovery. *Med Sci Sports Exerc*. 2006;38:1492–9.
6. Noakes T. *Lore of Running*. 4.ª ed. Champaign, IL: Human Kinetics; 2003.

7. Bosak A, Bishop P, Green M, Losia M. Active versus passive recovery in the 72 hours after a 5 km race. *Sport J.* 2008;11. ISSN: 1543-9518.
8. Meyer T, Faude O, Urhausen A, Kindermann W. Recovery training in cyclists: Ergometric, hormonal and psychometric findings. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;19:411–33.
9. Cucullo JM, Terreros JL, Layus F, Quílez J. Prueba ergométrica indirecta. Metodología para el cálculo óptimo del $\text{VO}_{2\text{max}}$ en ciclistas. *Apunts Med Esport.* 1987;93:157–62.
10. Bassett DR, Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:70–84.
11. Packer L, Reznick A, Simon-Schnass I. Significance of vitamin E for the athlete. En: Fuchs J, Packer L, editores. *Vitamin E in health and disease.* Nueva York, NY: Marcel Dekker; 1992. p. 465–71.
12. Gault MH, Harding CE. Evaluation of i-STAT portable clinical analyzer in a hemodialysis unit. *Clin Biochem.* 1996;29:117–24.
13. Murthy JN, Hicks JM, Soldin SJ. Evaluation of i-STAT portable clinical analyzer in a neonatal and pediatric intensive care unit. *Clin Biochem.* 1997;30:385–9.
14. Bingham D, Kendall J, Clancy M. The portable laboratory: and evaluation of the accuracy and reproducibility of i-STAT. *Ann Clin Biochem.* 1999;36:66–71.
15. Papadea C, Foster J, Grant S, Ballard SA, Cate JC, Southgate WM, et al. Evaluation of the i-STAT portable clinical analyzer for point of care blood testing in the intensive care units of a university children's hospital. *Ann Clin Lab Sci.* 2002;32:231–243.
16. Viru A, Viru M. *Análisis y control del rendimiento deportivo.* 1.^a ed. Barcelona: Paidotribo; 2003.
17. Meyer T, Faude O, Urhausen A, Scharhag J, Kindermann W. Different effects of two regeneration regimens on immunological parameters in cyclists. *Med Sci Sports Exerc.* 2004;36:1743–9.
18. Aguiló A, Tauler P, Guix MP, Villa G, Cordova A, Tur JA. Effect of exercise intensity and training on antioxidants and cholesterol profile in cyclists. *J Nutr Biochem.* 2003;14:319–25.
19. Zoppi CC, Hohl R, Silva FC. Vitamin C and E supplementation effects in professional soccer players under regular training. *J Int Sports Nutr.* 2006;3:37–44.
20. Gaiga MC, Docherty D. The effect of an aerobic interval training program on intermittent anaerobic performance. *Appl Physiol Nutr Metab.* 1995;20:452–64.
21. Norris SR, Petersen SR. Effect of endurance training on transient oxygen uptake responses in cyclists. *J Sports Sci.* 1998;16:733–8.
22. Wilmore JH, Costill DL. *Adaptaciones metabólicas al entrenamiento. Fisiología del esfuerzo y del deporte.* Barcelona: Paidotribo; 2007. p.198-220.
23. Weber CL, Schneider DA. Increases in maximal accumulated oxygen deficit after high-intensity interval training are not gender dependent. *J Appl Physiol.* 2002;92:1795–801.
24. Dawson B, Fitzsimons M, Green S, Goodman C, Carey M, Cole K. Changes in performance, muscle metabolites, enzymes and fibre types after short sprint training. *Eur J Appl Physiol.* 2002;78:163–9.
25. McDougall JD, Hicks AL, MacDonald JR, McKelvie RS, Green HJ, Smith KM. Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *J Appl Physiol.* 1998;84:2138–42.
26. Wisloff U, Ellingsen O, Kemi OJ. High-intensity interval training to maximize cardiac benefits of exercise training? *Exerc Sports Sci Rev.* 2009;37:139–46.
27. Midgley AW, McNaughton LR, Wilkinson M. Is there an optimal training intensity for enhancing the maximal oxygen uptake of distance runners? *Sports Med.* 2006;36:117–32.
28. Helgerud J, Hoydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, et al. Aerobic high-intensity intervals improve $\text{VO}_{2\text{max}}$ more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc.* 2007;39:665–71.
29. McRae HHS, Noakes TD, Dennis SC. Effects of endurance training on lactate removal by oxidation and gluconeogenesis during exercise. *Pflug Arch Eur J Physiol.* 1995;430:964–70.
30. Dorado C, Sanchis-Moysi J, Calbet JAL. Effects of recovery mode on performance, O_2 uptake, and O_2 deficit during high intensity intermittent exercise. *Can J Appl Physiol.* 2004;29:227–44.
31. Jeukendrup AE, Martin J. Improving cycling performance: How should we spend our time and money. *Sports Med.* 2001;31:559–69.
32. Borresen J, Lambert MI. The quantification of training load: The training response and the effect on performance. *Sports Med.* 2009;39:779–95.
33. Falk B, Dotan R. Child-adult differences in the recovery from high-intensity exercise. *Exerc Sport Sci Rev.* 2006;34:107–12.
34. Kubukeli ZN, Noakes TD, Dennis SC. Training techniques to improve endurance exercise performances. *Sport Med.* 2002;32:489–509.
35. Chicharro JL. *Transición aeróbica-anaeróbica: concepto, metodología de determinación y aplicaciones.* Madrid: Máster Line & Prodigio S.L.; 2004.
36. Margaritis I, Palazzetti S, Rousseau AS, Richard MJ, Favier A. Antioxidant supplementation and tapering exercise improve exercise-induced antioxidant response. *J Am Coll Nutr.* 2003;22:147–56.
37. Palazzetti S, Richard MJ, Favier A. Overload training increases exercise-induced oxidative stress and damage. *Can J Appl Physiol.* 2003;28:588–604.
38. Palazzetti S, Rousseau AS, Richard MJ. Antioxidant supplementation preserves antioxidant response in physical training and low antioxidant intake. *Br J Nutr.* 2004;91:91–100.
39. Finaud J, Scislawski V, Lac G. Antioxidant status and oxidative stress in professional rugby players: Evolution throughout a season. *Int J Sports Med.* 2006;27:87–93.
40. McBride JM, Kraemer WJ, Triplett-McBride T. Effect of resistance exercise on free radical production. *Med Sci Sports Exerc.* 1998;30:67–72.
41. Groussard C, Rannou-Bekono F, Machefer G, Chevanne M, Vincent S, Sergeant O, et al. Changes in blood lipid peroxidation markers and antioxidants after a single sprint anaerobic exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2003;89:14–20.
42. Frank J, Pompella A, Biesalski HK. Histochemical visualization of oxidant stress. *Free Radic Biol Med.* 2000;29:1096–105.
43. Chen SS, Chang LS, Wei YH. Oxidative damage to proteins and decrease of antioxidant capacity in patients with varicocele. *Free Radic Biol Med.* 2001;30:1328–34.
44. Radak Z, Nakamura A, Nakamoto H. A period of anaerobic exercise increases the accumulation of reactive carbonyl derivatives in the lungs of rats. *Plügers Arch.* 1998;435:439–41.
45. Kayatekin BM, Gonenc S, Acikgoz O, Uysal N, Dayi A. Effects of sprint exercise on oxidative stress in skeletal muscle and liver. *Eur J Appl Physiol.* 2002;87:141–4.
46. Goldfarb AH, Bloomer RJ, McKenzie MJ. Combined antioxidant treatment effects on blood oxidative stress after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2005;37:234–9.
47. Ramel A, Wagner KH, Elmadfa I. Plasma antioxidants and lipid oxidation after submaximal resistance exercise in men. *Eur J Nutr.* 2004;43:2–6.
48. Laursen PB. Free radicals and antioxidant vitamins: Optimizing the health of the athlete. *Strength Cond J.* 2001;23:17–25.

49. Clarkson PM, Thompson HS. Antioxidants: What role do they play in physical activity and health? *Am J Clin Nutr.* 2000;72:637-46.
50. Evans WJ. Vitamin E, vitamin C, and exercise. *Am J Clin Nutr.* 2000;72:647-52.
51. Singh A, Moses FM, Deuster PA. Chronic multivitamin-mineral supplementation does not enhance physical performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;24:726-32.
52. Kreider R, Fry AC, O'Toole M. Overtraining in sport: Terms, definitions, and prevalence. En: Kreider R, Fry AC, O'Toole M, editores. *Overtraining in Sport.* Champaign, IL: Human Kinetics; 1998. p. 7-9.
53. Clarkson PM. Antioxidants and physical performance. *Crit Rev Food Sci Nutr.* 1995;35:131-41.
54. Tiidus PM. Radical species in inflammation and overtraining. *Can J Physiol Pharmacol.* 1998;76:533-8.
55. Fry RW, Morton AR, Keast D. Periodisation and the prevention of overtraining. *Can J Sport Sci.* 1992;17:241-8.