

Adaptación del sistema antioxidante a un protocolo de entrenamiento de alta intensidad utilizando diferentes metodologías de recuperación

*Ldo. Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. Doctor en Medicina del Deporte
Profesor de la Escuela Profesional de la Medicina de la Educación Física y Deporte
Universidad de Cádiz. San Fernando, Cádiz
**Ldo. Medicina. Doctor en Medicina del Deporte
Profesor Titular de Anatomía en la Facultad de Medicina de la Universidad de Cádiz, Cádiz
***Ldo. Medicina. Doctor en Medicina del Deporte
Profesor Titular de Medicina Interna en Facultad de Medicina de la Universidad de Cádiz, Cádiz
****Lda. Medicina. Médica del Deporte en el Centro Andaluz de Medicina del Deporte San Fernando, Cádiz

PhD. Pelayo Arroyo García*
Francisco Javier Ordoñez**
Manuel Rosety Rodríguez***
Carmen Vaz Pardal****
pelayo.arroyo@uca.es
(España)

Resumen

Sabemos la importancia que tienen las vitaminas antioxidantes como suplementación ergogénica en la dieta de los deportistas en todos sus niveles. Así, el objetivo de este estudio preliminar fue evaluar la incidencia de su aplicación sobre el sistema antioxidante tras completar un protocolo de entrenamiento de alta intensidad (EII) combinado con sesiones de recuperación. En nuestro estudio participaron voluntariamente 15 ciclistas adultos varones con una edad media de 36,18±5,30 años y fue aprobado por el Comité de Ética Institucional de la Universidad de Cádiz. Los sujetos fueron asignados de forma dirigida a uno de los tres grupos: regenerativo-plus (RP, n=6): entrenamiento interválico intensivo (EII) combinado con sesiones de baja intensidad (50% VO2max) más la suplementación de antioxidantes; regenerativo (R, n=5): EII combinado con sesiones de baja intensidad al 50% VO2max; control (C, n=4): descanso. Realizaron un protocolo de EII combinado con sesiones de baja intensidad durante 20 días. Antes y después de la aplicación del protocolo se midieron parámetros antioxidantes [el estado antioxidante total (TAS), superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), ratio glutatión / glutatión oxidado (GSH/GSSG), glutatión-6-fosfatodeshidrogenasa (G6PDH), glutatión peroxidasa (GPx)] y parámetros fisiológicos [hematocrito (Hct) y consumo máximo de oxígeno (VO2max)]. Se observó una mejora significativa ($p < 0,05$) de la actividad antioxidante en el grupo RP y R al finalizar el protocolo, además de diferencias significativas ($p < 0,05$) entre el grupo RP, R y C. No se observaron cambios significativos ($p > 0,05$) en los valores del Hct y VO2max. Por lo tanto, los datos sugieren que la suplementación combinada de antioxidantes durante periodos de recuperación a baja intensidad podría ser una estrategia adecuada para mejorar el sistema antioxidante después de un periodo de entrenamiento de alta intensidad.

Palabras clave. Antioxidantes. Entrenamiento regenerativo. Recuperación. Ciclismo. Alta intensidad.

EFDeportes.com, Revista Digital. Buenos Aires, Año 16, Nº 164, Enero de 2012.

<http://www.efdeportes.com/>

1 / 1

Introducción

La suplementación con vitaminas antioxidantes se ha utilizado en otros estudios (1, 2, 3) durante un programa de entrenamiento para evaluar el efecto protector que poseen contra el daño producido por las sustancias reactivas del oxígeno (ROS). A pesar de su extendido uso, existen pocos estudios que hayan aplicado la suplementación de antioxidantes como un medio para mejorar el estado antioxidante de los atletas en un periodo específico de recuperación activa, a pesar de que la mayor parte de las adaptaciones inducidas por el ejercicio tienen lugar durante la recuperación (4).

Las ROS, son la primera causa de daño celular, de ahí el interés por analizar el papel que tienen los antioxidantes en el proceso de recuperación. Los efectos perjudiciales de estos pueden atenuar el rendimiento físico, prevenir sus efectos puede ser beneficioso y, además del papel fundamental que tienen en la regulación de la transcripción genética y síntesis de proteínas (5).

Son muchos los profesionales en este campo que aconsejan seguir una dieta equilibrada, una adecuada rehidratación y un controlado estilo de vida para asegurar la recuperación del organismo del atleta después de una sesión de entrenamiento, periodo de entrenamiento o competición, y que podría ser un protocolo de recuperación adecuado si se le da el tiempo suficiente (6, 7). Se cree que incluir la suplementación en la dieta, puede ayudar a maximizar la recuperación del atleta después del ejercicio (7). Un programa adecuado de suplementación asegura a los atletas mejorar el comportamiento de la fase rápida (30-45 min después de la sesión de entrenamiento) y lenta de la recuperación (días después de la sesión de entrenamiento) (7).

Actualmente se conoce que la vitamina C y E se consumen durante el ejercicio, lo que significa que a nivel de los tejidos estos componentes se ven reducidos, ya que, no son sintetizadas por el propio organismo. La suplementación post-ejercicio de estas vitaminas se conoce que es efectiva (8), (9).

Así, el objetivo de este estudio fue evaluar el grado de recuperación en sujetos de nivel amateur, analizando la actividad de diferentes enzimas antioxidantes (superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT), glutathion peroxidasa (GPx)), así como el ratio glutathion/glutathion oxidado (GSH/GSSG), glucosa-6-fosfato deshidrogenasa (G6PDH) y el estado total antioxidante (TAS) tras la aplicación de un entrenamiento de alta intensidad combinado con sesiones de recuperación de baja intensidad (50% VO₂max).

Material y método

Este estudio se desarrolló a través de una colaboración con 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 10 ciclistas varones procedentes del Club Ciclista Benacazón (Sevilla) y del Club Ciclista Portuense (Cádiz) de nivel amateur con una edad media de 36,18±5,30 años que competían a nivel regional y nacional (ver Tabla 1). Estos dedicaban entre 10 y 12 horas semanales al entrenamiento, nunca habían sido asesorados por licenciados en educación física ni médicos deportivos para seguir un plan de entrenamiento personal.

	Grupos		
	RP	R	C
Peso (Kg)	72,9±5,62	73,43±4,92	71,75±5,5
Talla (cm)	174,33±4.84	174±2.28	177±4,69
IMC	24,61±1,32	24,27±1,94	22,91±1,88
Edad	33,83±2,13	35,5±6,22	33,25±6,5

IMC: Índice Masa Corporal

Tras una reunión donde se informó a los participantes de, los objetivos y finalidad del estudio, de las pruebas que debían realizar, lugar en el que se desarrollarían las actividades y la duración del protocolo, se les 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 se sometió a todos los participantes a un reconocimiento médico para asegurar una práctica segura y saludable, que consistió en una historia clínica con antecedentes familiares y personales, un examen físico y la realización de unas pruebas complementarias: electrocardiograma (ECG) en reposo, impedanciometría, espirometría y toma de presión arterial, cuyos resultados fueron normales, no encontrando contraindicación alguna para la práctica deportiva entre los sujetos.

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

1. No detectar ninguna contraindicación para la práctica deportiva en las pruebas realizadas en el reconocimiento médico.
2. No debían encontrarse en un estado de sobrecarga, sobreentrenamiento o enfermedad crónica.
3. No debían estar siguiendo un programa de suplementación ajeno a la investigación.
4. Debían llevar al menos dos semanas sin realizar entrenamientos de tipo anaeróbico previo al estudio.
5. Debían haber seguido una rutina de entrenamiento previa al estudio de al menos un año.

Así los participantes fueron distribuidos de forma dirigida según edad, índice de masa corporal (IMC) y nivel de entrenamiento (ver tabla 1) en uno de los grupos:

1. Grupo Regenerativo-Plus (RP) (n= 6): llevó a cabo el entrenamiento regenerativo junto con la suplementación de antioxidantes.
2. Grupo Regenerativo (R) (n= 5): solo realizó el entrenamiento regenerativo.
3. 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 sucediesen 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 (ver Figura 1). Los tres primeros días fueron destinados a un entrenamiento por terreno llano de una hora de duración a una intensidad del 60% VO₂max para alcanzar unas condiciones similares en todos los participantes (10).

Tras estos tres días, siguió un periodo de entrenamiento de 17 días donde 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 minutos, solo hubo un día (8º día) de descanso total para todos los grupos. Las sesiones de baja intensidad (50% VO₂max) y corta duración (1 hora) se llevaron a cabo por terreno llano tanto para el grupo RP como R, siendo para el grupo C sesiones de descanso total, solo pudieron realizar actividades de la vida diaria (10).

La distribución de la carga en el protocolo de entrenamiento interválico intensivo establecida de la siguiente manera:

- El 65% se invirtió en entrenamientos con una intensidad de 65% VO₂max.
- El 20% se invirtió en entrenamientos con una intensidad de 75% VO₂max.
- El 15% se invirtió en entrenamientos con una intensidad de 90% VO₂max



Figura 1. Esquema del protocolo

La intensidad de entrenamiento para las diferentes sesiones (basada en frecuencia cardiaca) se estableció a partir de porcentajes del VO₂max gracias a la relación existente entre ambos parámetros (11) (obtenida en la prueba de esfuerzo pre-protocolo). El VO₂max está considerado un indicador válido de la función integrada de la respiración, sistemas cardiovascular y muscular durante el ejercicio y tiene un papel determinante en el rendimiento (12).

Durante el periodo de recuperación a todos los sujetos se les permitió realizar actividades habituales de la vida diaria con la excepción de no participar en ningún tipo de actividad física. Durante la hora que duró la recuperación activa a baja intensidad, al grupo control se les indicó que descansara. El protocolo regenerativo tuvo una duración de 4 días, en los que los sujetos entrenaron durante una hora por terreno llano a una intensidad que correspondía al 50% VO₂max y se suplementaron con vitamina C y E.

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. (13), que consistió en administrar una vez al día (solo durante las sesiones de recuperación) en el desayuno 500 mg de vitamina C y 400 U.I. de vitamina E. Se considera que es una recomendación razonable para atletas que entrenan a una intensidad moderada – fuerte (13).

Recogida de parámetros

Antes de empezar nuestro protocolo, medimos el VO₂max 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 (EqVO₂) como del dióxido de carbono (EqVCO₂) en una prueba incremental. El protocolo utilizado en la prueba de esfuerzo consistió en un calentamiento previo a 50 vatios (W) de tres minutos. 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 tres minutos.

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 estudio de las variables sero-hemáticas (perfil lipídico sérico y enzimas antioxidante eritrocitarias), de los participantes se extrajo una muestra de sangre venosa antecubital por la mañana tras un ayuno de 10-12 horas, cumpliendo en todo momento con los principios establecidos en la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (2004). Tras recogerse en un tubo (EDTA), se centrifugó durante 10 minutos (500 g) separando el plasma mediante una micropipeta de las células sanguíneas.

Una vez separadas del plasma, las células rojas aisladas se lavaron 3 veces en una solución de 9 g/l de NaCl. Los eritrocitos lisados se prepararon poniendo las células en hielo seco y en 5 volúmenes de agua destilada helada. Las membranas celulares se eliminaron por centrifugación mientras el sobrenadante fue congelado a -20° C hasta que se procediera a la determinación de la actividad de las enzimas antioxidantes eritrocitarias.

La actividad de la superóxido dismutasa [SOD, E.C. 1.15.1.1 (14)], glutathion peroxidasa [GPx, E.C. 1.11.1.9 (15)], catalasa [CAT, E.C. 1.11.1.6 (16)] y glucosa-6-fosfato deshidrogenasa [G6PDH, E.C. 1.1.1.49 (17)] ratio glutathion/ glutathion oxidado [GSH/ GSSG (18)] se determinó en el sobrenadante del hemolisado.

En este sentido cabe destacar que las actividades enzimáticas antioxidantes se relacionaron con el contenido de hemoglobina expresándose como U o mU/g hemoglobina.

Conviene precisar que estas pruebas se realizaron en dos ocasiones: tres días antes del protocolo y a los tres días de haber finalizado el mismo.

Estadística

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 son expresados como media \pm SD y fueron analizados usando el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences (SPSS), versión 15.0.

Resultados

Tabla 2. Comparación de medias del TAS y de la actividad de los enzimas antioxidantes

Variables	Grupos					
	RP (n=5)		R (n=6)		C (n=4)	
	Pre	Post	Pre	Post	Pre	Post
TAS (mmol/l)	1,03 \pm 0,55	1,78 \pm 0,04	1,044 \pm 0,55	1,192 \pm 0,05	1,07 \pm 0,77	0,81 \pm 0,07
GSH/ GSSG	10,28 \pm 0,34	12,83 \pm 0,25	10,12 \pm 0,33	12,42 \pm 0,49	9,95 \pm 0,31	8,42 \pm 0,49
SOD (U/gHb)	526,96 \pm 6,72	553,05 \pm 8,59	531,46 \pm 9,11	548,74 \pm 7,76	547,87 \pm 3,00	537,22 \pm 6,11
GPx (U/gHb)	25,21 \pm 0,38	28,56 \pm 0,61	25,02 \pm 0,34	28,12 \pm 0,83	25,12 \pm 0,83	24,77 \pm 0,61
CAT (U/gHb)	1554,90 \pm 17,25	1647,36 \pm 12,78	1557,08 \pm 16,17	1620,90 \pm 10,78	1578,67 \pm 9,23	1566,05 \pm 2,48
G6PDH (mU/gHb)	12,08 \pm 0,37	14,36 \pm 0,37	12,24 \pm 0,37	14,32 \pm 0,52	12,32 \pm 0,30	12,22 \pm 0,17

La Tabla 2 muestra los valores medios de TAS y de la actividad de las diferentes enzimas antioxidantes, antes y después de la aplicación del protocolo en los grupos RP, R y C.

Tabla 3. Valor de p para las variables antioxidantes tras completar el protocolo

Variables	Grupos		
	RP (n=5)	R (n=6)	C (n=4)
TAS (mmol/l)	0,000	0,000	0,000
GSH/ SSG	0,000	0,000	0,001
SOD (U/gHb)	0,000	0,017	0,073
GPx (U/gHb)	0,000	0,000	0,060
CAT (U/gHb)	0,000	0,000	0,102
G6PDH (mU/gHb)	0,000	0,000	0,252

En la tabla 3 se pueden observar los valores de p tras completar el protocolo, en cada uno de los grupos, donde tanto en el grupo RP como R estos valores fueron significativos ($P < 0,05$). Mientras que en el grupo C solo se observaron diferencias significativas en el TAS y GSH/GSSG.

Tabla 4. Diferencias entre el grupo RP frente al grupo R y C para las variables antioxidantes tras completar el protocolo

Variables	Grupo	Grupos	
		R (n=6)	C (n=4)
		p	p
TAS	RP (n=5)	0,000	0,000
GSH/GSSG		0,226	0,000
SOD		0,296	0,021
CAT		0,198	0,031
GPx		0,223	0,000
G6PDH		0,312	0,001

La tabla 4 refleja las diferencias entre el grupo RP respecto al grupo R y C tras la aplicación del protocolo. Donde se observan a penas diferencias entre el grupo RP y R, mientras que por otro lado, existen diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el grupo RP y C.

En la tabla 5 se observan las diferencias entre el grupo R respecto al grupo RP y C tras la aplicación del protocolo. Donde se observan diferencias significativas ($P < 0,05$) entre el grupo R y C.

Tabla 5. Diferencias entre el grupo R frente al grupo RP y C para las variables antioxidantes tras completar el protocolo

Variables	Grupo	Grupos	
		RP (n=5)	C (n=4)
		<i>p</i>	<i>p</i>
TAS	R (n=6)	0,000	0,000
GSH/GSSG		0,226	0,000
SOD		0,296	0,110
CAT		0,198	0,165
GPx		0,223	0,073
G6PDH		0,312	0,127

Tabla 6. Comparación de medias del comportamiento del hematocrito y el consumo máximo de oxígeno

Variables	Grupos								
	RP			R			C		
	Pre	Post	<i>p</i>	Pre	Post	<i>p</i>	Pre	Post	<i>p</i>
Hct (%)	47,50±3,61	48,17±1,72	0,328	45,80±2,49	48,80±1,78	0,614	45,50±3,31	47,50±2,38	0,256
VO ₂ max (ml/kg/min)	56,71±7,24	57,33±6,88	0,319	57,76±5,51	57,88±5,54	0,948	66,15±6,80	63,70±7,25	0,147

Como reflejan los datos expresados en la tabla 5, no se observaron diferencias significativas ($p < 0,05$) tanto en el Hct como en el VO₂max después de la aplicación del protocolo en ninguno de los tres grupos.

Discusión

Este estudio se llevó a cabo para conocer si la metodología utilizada basada en la suplementación de antioxidantes junto con sesiones de baja intensidad, puede ser una estrategia adecuada para periodos de recuperación tras un protocolo de EII.

Existen trabajos que se han centrado en el estudio de metodologías de recuperación tras varias sesiones de entrenamiento, competiciones etc... que podrían tener una relevancia para mantener y/ o mejorar el rendimiento de los atletas (19, 20, 21). Se han sugerido diferentes métodos de recuperación después de un esfuerzo, a pesar de la falta de acuerdo científico sobre su eficacia (22, 23). La discrepancia en los resultados puede ser debida a las diferentes metodologías de recuperación utilizadas, poblaciones objeto de estudio y número de sujetos, diseños de investigación y también el tipo de entrenamiento.

Al igual que en otros estudios, hemos observado que la suplementación de vitaminas C y E (vitaminas antioxidantes) reduce los síntomas o marcadores de estrés oxidativo inducido por el ejercicio, aumentando significativamente ($p < 0,05$) tanto el TAS como la actividad de los enzimas antioxidantes en el grupo RP, al igual que Clarkson et al. (24). Existen evidencias de que el estrés oxidativo está relacionado con la fatiga (25) y que la necesidad de suplementar con vitaminas antioxidantes se observa especialmente en personas físicamente activas y en individuos bien entrenados (26).

Sugerimos que la dosis empleada en nuestro estudio de vitaminas antioxidantes C y E (500 mg y 400 U.I. respectivamente) durante sesiones de baja intensidad en el grupo RP fue adecuada para aumentar el TAS y la actividad de los enzimas antioxidantes significativamente ($p < 0,05$), aplicando así, una dosis menor que la aplicada por Avery et al (27), que además no obtuvo resultados positivos sobre los parámetros de estrés oxidativo. Por otro lado, en el grupo R se observan resultados también significativos ($p = 0,000$) tanto en el TAS como en la actividad de los enzimas antioxidantes. Sin embargo, cuando se comparan ambos grupos (RP y R), existen diferencias significativas en el caso del TAS ($p = 0,000$) a favor del grupo RP, mientras que no ocurre lo mismo en las demás variables ($p > 0,05$). Sugerimos a la vista de los resultados, que la suplementación de antioxidantes junto con recuperación activa parece ser mejor estrategia que la recuperación activa por si sola para mejorar el TAS.

Recientes estudios han demostrado que el sistema de defensa antioxidante podría reducirse temporalmente en respuesta a la producción de ROS, pudiendo verse afectado dicho sistema durante el periodo de recuperación como resultado de unas condiciones pro-oxidantes (28). En el grupo C se observa un empeoramiento tanto del TAS como del ratio GSH/ GSSG ($p = 0,000$ y $p = 0,001$ respectivamente). A la vista de los resultados parece que estas dos variables son las más afectadas durante un periodo de EII.

En el presente estudio observamos un aumento de la actividad de SOD en el grupo RP y R ($p < 0,05$) tras la aplicación del protocolo, sin embargo, en el grupo C la actividad de esta enzima decreció aunque no fue significativo ($p = 0,07$). De la misma manera en el caso de la actividad de GPx, aumentó en el grupo RP y R ($p < 0,05$). En el grupo C se observó una

disminución de la actividad de este enzima que no fue significativa ($p=0,060$). Podríamos decir, que sin una metodología de recuperación activa (con o sin suplementación), el sistema antioxidante natural se puede encontrar con ciertas dificultades para contrarrestar los ROS generados por el programa de actividad física (29).

Los niveles de GPx disminuyeron después de la sesión de entrenamiento, periodo de entrenamiento o competición (30). Según los resultados de este estudio, sugerimos que la metodología utilizada tanto en el grupo RP y R, no solo recuperó los valores de reposo antes de empezar el estudio, sino que mejoraron significativamente ($p<0.05$).

El volumen (31, 32) e intensidad del ejercicio (33) es un factor determinante en el nivel de GSH, sin embargo para la CAT y el TAS según Nikolaidis (32) son independientes de la duración del ejercicio. Por lo tanto, sugerimos que el volumen (en el caso GSH) e intensidad (en el caso de GSH, CAT y GSH) de las sesiones de recuperación para los grupos RP y R fueron adecuadas para mejorar la actividad de estos enzimas antioxidantes.

Por otro lado, observamos un aumento en la actividad de G6PDH en el grupo RP ($p=0,000$) y R ($p=0,000$) y una disminución no significativa ($p=0,252$) en el grupo C. Por lo tanto, tanto en el grupo RP como R podríamos decir que evitamos una deficiencia de G6PDH, que puede llevar a un aumento de la sensibilidad de los eritrocitos a oxidarse, llevándonos a una posible anemia hemolítica (33), (34).

Este hecho puede hacer disminuir la capacidad de generar NADPH por parte de los eritrocitos, dando lugar a que el glutatión reductasa disminuya su funcionalidad, para reciclar el GSSG a GSH aumentando así los niveles de este (34). En nuestro estudio, observamos que el ratio GSH/GSSG disminuyó en el grupo C tras la aplicación del protocolo, por lo que sugerimos que el descanso total (solo se les permitió realizar actividades de la vida diaria) no parece ser una metodología adecuada para mejorar el sistema antioxidante (32).

Por otro lado, observamos un aumento significativo ($p=0,000$) del ratio GSH/GSSG en el grupo RP y R tras la aplicación del protocolo. Estos datos sugieren que la metodología seguida en ambos grupos parece adecuada para disminuir los niveles de GSSG, mejorando así nuestro sistema antioxidante.

Por otro lado, en este estudio no se observaron cambios significativos en ninguno de los grupos (RP ($p=0,328$); R ($p=0,948$); C ($p=0,256$)) en el Hct, luego sugerimos que las variaciones en los parámetros antioxidantes estudiados no pueden ser atribuidos a modificaciones en el volumen plasmático (30).

El control del peso del atleta, en deportes de resistencia, es muy importante. Actualmente existe una tendencia en deportistas amateurs de seguir dietas pobres en grasas. Este fenómeno podría estar asociado con una posible disminución en la concentración de vitaminas liposolubles, como es el caso de la vitamina E (35). Además, la deficiente asimilación de vitamina E, contribuye a la aparición temprana de la fatiga (4). Sugerimos, que tanto el grupo RP y el grupo R no se encontraban, tras finalizar el estudio, en un estado de fatiga desde el punto de vista antioxidante, ya que, en ambos casos mejoraron significativamente ($p < 0,05$) tanto el TAS como la actividad de los enzimas antioxidantes estudiados ($p < 0,05$).

De esta manera y a modo de conclusión, sugerimos que:

1. La suplementación combinada de antioxidantes (vitamina E y C) podría ser la mejor estrategia para mejorar el TAS por encima de los valores de reposo tras un periodo de entrenamiento de alta intensidad, contrarrestando así el riesgo que supone un incremento de ROS.
2. Parece que las variables más susceptibles tras un entrenamiento de alta intensidad son el TAS y el ratio GSG/ GSSG.
3. La recuperación activa (con o sin suplementación) parece ser una metodología de recuperación acertada para provocar una adaptación en el sistema antioxidante tras un periodo de entrenamiento de alta intensidad.
4. El sistema de defensa antioxidante natural no parece ser suficiente para contrarrestar el incremento de los ROS tras el ejercicio en deportistas amateur.

Limitaciones del estudio

1. El estricto criterio seguido para obtener una muestra homogénea limitó el tamaño de la muestra, lo que podría haber afectado a la significancia estadística.
2. Es posible que debido a la edad, estado de forma de los sujetos, a su controlado estilo de vida y a una dieta equilibrada esta estrategia de recuperación, pueda haber tenido mayor impacto que otras intervenciones empleadas.
3. Debe hacerse un estudio diferenciando el periodo de recuperación después del entrenamiento de alta intensidad.

Bibliografía

1. Gross M, Baum O, Hoppeler H. Antioxidant supplementation and endurance training: win or loss? *Eur J Sport Science*. 2011; 11(1): 27-32.

2. McGinley C, Shafat, A, Donnelly, AE. Does antioxidant vitamin supplementation protect against muscle damage? *Sports Med.* 2009; 39(12): 1011-1032.
3. Peake JM, Suzuki K, Coombes JS. The influence of antioxidant supplementation on markers of inflammation and the relationship to oxidative stress after exercise. *J Nutr Biochem.* 2007; 18(6): 357-371.
4. Bishop PA, Jones A, Woods KA. Recovery from training: A brief review. *J Strength Cond Re.* 2008; 22(3):1015-1035.
5. Yfanti C, Akerström T, Nielsen S, Nielsen AR, Mounier R, Mortensen OH; Lykkesfeldt J, Rose AJ, Fischer CP, Pedersen BK. Antioxidant supplementation does not alter training. *Med Sci Sports Exerc.* 2010; 42(7): 1388-1395.
6. Tessitore A, Meeusen R, Pagano R, Benvenuti C, Tiberi M, Capranica L. Effectiveness of active versus passive recovery strategies after futsal games. *J strength Cond Res.* 2008; 22(5): 1402-1412.
7. Ziegenfus TN, Landis J, Greenwood M. Nutritional supplements to enhance recovery. En: Greenwood M, Kalman D, Antonio, J. *Nutritional supplements in sports and exercise.* Totowa: Humana Press Inc. 2008. pp. 409-450.
8. Bloomer R, Goldfarb A; McKenzie M. Oxidative stress response to aerobic exercise: comparison of antioxidant supplements. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38(6): 1098-1105.
9. Goldfarb AH, Bloomer RJ, McKenzie MJ. Combined antioxidant treatment effects on blood oxidative stress after eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2005; 37:234–239.
10. 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(10): 1743-1749.
11. Cucullo JM, Terreros JL, Layus F, Quílez, J. Prueba ergométrica indirecta. Metodología para el cálculo óptimo del VO₂max en ciclistas. *Apunts Med Esport.* 1987; 93:157-162.
12. Bassett D, Howley E. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2000; 32(1): 70-84.
13. Packer, L; Reznick, A; Simon-Schnass, I. Significance of vitamin E for the athlete. En: Fuchs J, Packer L. *Vitamin E in health and disease.* New York (NY): Marcel Dekker. 1992. pp.465-71.
14. McCord, J.M. & Fridovich, I. (1969). Superoxide dismutase. An enzymic function for erythrocyte (hemocuprein). *The Journal of Biological Chemistry.* 244: 6049-6055.
15. Sies H. Biochemistry of oxidative stress. *Angew Chem Int Ed Engl.* 1986; 25: 1058-1071.

16. Beutler E. Catalase. En: Beutler E. *Red Cell Metabolism. A manual of biochemical methods*. New York: Grune and Stratton; 1975. pp. 89-90.
17. Glock GE, McLean P. Further studies on the properties and assay of glucose-6-phosphate dehydrogenase and 6-phosphogluconate dehydrogenase of rat liver. *Biochem J*. 1953; 55:400-408.
18. F. Tietze. Enzymic Method for Quantitative Determination of Nanogram Amounts of Total and Oxidized Glutathione: Applications to Mammalian Blood and Other Tissues. *Anal. Biochem*, 1969; 27: 502-522
19. Barnett, A. Using recovery modalities between training sessions in elite athletes: Does it help? *Sports Med*. 2006; 36: 781-796.
20. 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 Phy*. 2002; 78: 163-169.
21. Reilly T, Thomas V. A motion analysis of work-rate in different positional roles in professional football match-play. *J Hum Mov Stud*. 1976; 2: 87-97.
22. Reilly T, Ekblom B. The use of recovery methods post-exercise. *J Sports Sci* 2005; 23: 619-627.
23. Reilly T. *The Science of Training-Soccer*. London: Routledge, 2007. pp. 107-125.
24. Clarkson P; Thompson, H. Antioxidants : what role do they play in physical activity and health? *Am J Clin Nutr*. 2000; 72(2): 637-646.
25. Hawley A; Stepto K. Adaptations to training in endurance cyclists. *Sports Medicine*. 2001; 31(7), 511-520.
26. Sharpe PC, Duly EB, MacAuley D, et al. Total radical trapping antioxidant potential (TRAP) and exercise. *Q J Med*. 1996; 89: 223-8.
27. Avery N; Kaiser J; Sharman M; Scheett T; Barnes D; Gómez A; Kraemer W; Volek, J. Effects of vitamin E supplementation on recovery from repeated bouts of resistance exercise. *The journal of Strength and Conditioning Research*. 2003; 17 (4), 801-809.
28. Watson TA, MacDonald-Wicks LK, Garg, ML. Oxidative stress and antioxidants in athletes undertaking regular exercise training. *Int J Sports Nutr Exer Met*. 2005; 15(2): 131-146.
29. Leeuwenburgh C, Heinecke J. Oxidative stress and antioxidants in exercise. *Curr Med Chem*. 2001; 8: 829-838.
30. Aguiló A, Tauler P, Fuentespina E, Tur JA, Córdova A, Pons A. Antioxidant response to oxidative stress induced by exhaustive exercise. *Phys Beh*. 2004; 84: 1-7.

31. Hayriye ÇA, Süleyman D, Raziye PD, Nihat G. Effects of different resistance training on indices of oxidative stress. *J Strength Cond Res.* 2010; 24(9): 2491-2497
32. Nikolaidis MG, Jamurtas AJ, Paschalis V, Kostaropoulos IA, Kladi-Skandali A, Balamitsi V, Koutedakis Y, Kouretas D. Exercise-induced oxidative stress in G6PDH-deficient individuals. *Med Sci Sports Exerc.* 2006; 38(8): 1443-1450.
33. Sastre J, Asensi M, Gasco E, Pallardo FV, Ferrero JA, Furukawa T, Vina J. Exhaustive physical exercise causes oxidation of glutathione status in blood: prevention by antioxidant administration. *Am J Phys.* 1992; 32: 992-995.
34. Mehta A, Mason PJ, Vulliamy J. Glucose-6-phosphate dehydrogenase deficiency. *Baillieres Best Pract. Res. Clin. Haematol.* 2000; 13:21–38.
35. Sen CK. Antioxidant in exercise nutrition. *Sports Med.* 2001; 31(13):891-908.