


PARÁMETROS BIOQUÍMICOS A LO LARGO DE TRES MICROCIOS DE

View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you by  CORE

provided by Servicio de Coordinación de Bibliotecas de la Universidad Politécnica de Madrid

BIOCHEMICAL PARAMETERS ALONG THREE INTENSE TRAINING MICROCYCLES IN ELITE TRIATHLETES

RESUMEN

Algunos investigadores han utilizado la información que suministran determinados parámetros sanguíneos para el control biológico del entrenamiento. Entre estos parámetros los más utilizados como indicadores de sobreentrenamiento son: creatina kinasa (CK), urea (U), cortisol (C), testosterona (T) y relación testosterona/cortisol (T/C). El objetivo de este estudio fue determinar la evolución de CK, U, C, T y T/C a lo largo de 3 microciclos (M) de entrenamiento, comparando los valores tras una sesión de entrenamiento intenso con los obtenidos tras una sesión de recuperación. Seis triatletas masculinos de élite participaron en el estudio y fueron seguidos durante un periodo de entrenamiento de 31 semanas. Se estudiaron los microciclos 8, 22 y 31 (M1, M2 y M3, respectivamente). Se realizaron 7 extracciones sanguíneas en los siguientes momentos: una analítica en octubre en el periodo de descanso, y dos analíticas al final de cada M (tras una sesión de entrenamiento y una de recuperación). En cada M se registraron los datos de entrenamiento así como los de percepción de la carga y recuperación. La CK descendió de forma significativa tras una sesión de recuperación después de haber alcanzado valores significativamente superiores a los de referencia ($129,5 \pm 80,2$ U/l) en el M1 (Entrenamiento: $303,2 \pm 141,8$ U/l vs. Recuperación: $211,3 \pm 65,4$ U/l; $P < 0,05$), en el M2 (Entrenamiento: $316,2 \pm 134,1$ U/l vs. Recuperación: $238,2 \pm 149$ U/l; $P < 0,05$) y M3 (Entrenamiento: $383,3 \pm 231,0$ U/l vs. Recuperación: $209,8 \pm 98,2$ U/l; $P < 0,05$). Ni la U ni la T experimentaron variaciones significativas tras una sesión de recuperación, mientras que el C sólo descendió significativamente en M3 (Entrenamiento: $23 \pm 2,3$ $\mu\text{g/dl}$ vs. Recuperación: $18,9 \pm 2,7$ $\mu\text{g/dl}$; $P < 0,05$). En conclusión, este estudio muestra las variaciones que experimentan varios parámetros sanguíneos a lo largo de tres microciclos de entrenamiento intenso, en los que ninguno de los deportistas experimentó ningún síntoma de sobreentrenamiento.

Palabras clave: Sobreentrenamiento. Creatina kinasa. Testosterona. Cortisol. Urea. Triatlón.

CORRESPONDENCIA:

Francisco Javier Calderón Montero
Facultad de Ciencias de la Actividad Física y de Deporte – INEF. Universidad Politécnica de Madrid
C/ Martín Fierro, 7. 28040 Madrid, España
E-mail: franciscojavier.calderon@upm.es

SUMMARY

Some researchers have used the information provided by certain blood parameters for training control. The parameters which are normally used as indicators of overtraining are: creatine kinase (CK), urea (U), cortisol (C), testosterone (T) and the ratio testosterone/cortisol (T/C). The aim of this study was to determine the evolution of CK, U, C, T and T/C along three training microcycles (M), comparing the values obtained after an intense training session with those obtained after a recovery session. Six elite male triathletes participated in the study and they were followed for a period of 31 weeks. The microcycles 8, 22 and 31 were studied (M1, M2 and M3, respectively). Seven blood samples were obtained at the following moments: one sample in October in the rest period, and two more at the end of each M (after a training session and a recovery session). The following variables were measured: CK, U, C, T and T/C. Data training and perceived effort were recorded in each M. Creatine kinase decreased significantly after a recovery session after reaching significantly higher values than the reference (129.5 ± 80.2 U/l) in the M1 (Training: 303.2 ± 141.8 U/l vs. Recovery: 211.3 ± 65.4 U/l; $P < 0.05$), in the M2 (Training: 316.2 ± 134.1 U/l vs. Recovery: 238.2 ± 149 U/l; $P < 0.05$) and M3 (Training: 383.3 ± 231.0 U/l vs. Recovery: 209.8 ± 98.2 U/l; $P < 0.05$). Neither U or T changed significantly after a recovery session, while C decreased significantly only in M3 (Training: 23 ± 2.3 $\mu\text{g/dl}$ vs. Recovery: 18.9 ± 2.7 $\mu\text{g/dl}$; $P < 0.05$). In conclusion, this study shows the changes experienced by several blood parameters through three intense training microcycles, in which none of the triathletes experienced any symptoms of overtraining.

Key words: Overtraining. Creatine kinase. Testosterone. Cortisol. Urea. Triathlon.

*Ana B. Peinado¹
**Maria I. Barriopedro²
***Ángel E. Díaz³
*Irma Lorenzo⁴
*Pedro J. Benito¹
****Francisco J. Calderón¹

¹Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo, Dpto. de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte – INEF, Universidad Politécnica de Madrid, España.
²Dpto. de Ciencias Sociales de la Actividad Física, del Deporte y del Ocio. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte – INEF, Universidad Politécnica de Madrid, España.
³Laboratorio Clínico. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de Deportes. Madrid, España.
⁴Dpto. de Ciencias de la Actividad Física. Universidad Camilo José Cela. Madrid, España.

*Doctores en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte.
**Doctora en Psicología.
***Licenciado y Máster en Ciencias Biológicas.
****Doctor en Medicina y Cirugía.

INTRODUCCIÓN

El triatlón, como deporte de resistencia, presenta una alta exigencia tanto en el entrenamiento como en la competición. A diferencia de otros deportes de resistencia, el triatlón, al combinar de forma consecutiva natación, ciclismo y carrera, determina unas características del entrenamiento particulares. Por ejemplo, los triatletas entrenan más horas que los deportistas de cada una de las disciplinas que lo componen¹. Algunos investigadores han demostrado efectos cruzados entre los entrenamientos de las diferentes disciplinas², aunque se desconocen los mecanismos. Como consecuencia de lo señalado, este deporte requiere un control de las cargas de entrenamiento y una planificación muy detallada, al objeto de alcanzar los objetivos pretendidos y no entrar en síndrome de fatiga crónica³. Este síndrome, también conocido como sobreentrenamiento, es complejo de investigar, primero por ser un síndrome y en segundo lugar por cuestiones obviamente éticas. En relación a la primera de las dificultades del diagnóstico, diversos estudios han intentado determinar los marcadores biológicos del sobreentrenamiento³⁻⁶, pero no existe unanimidad respecto a cuál es más adecuado para prevenir la aparición del mismo. Por cuestiones éticas, los estudios relativos a los marcadores biológicos que pueden servir para prevenir el sobreentrenamiento son escasos en deportistas. Únicamente en personal militar con un elevado grado de exigencia física se ha podido constatar que determinados parámetros se relacionan estrechamente con los síntomas y signos de fatiga crónica^{7,8}.

A pesar de la dificultad en detectar y prevenir el estado de sobreentrenamiento, algunos investigadores han utilizado la información que suministran determinados parámetros sanguíneos para controlar el entrenamiento, y dar información a los entrenadores sobre cómo asimilan biológicamente las cargas los deportistas. Entre estos parámetros los más utilizados como indicadores de sobreentrenamiento son⁶: la enzima creatina kinasa (CK), la urea (U), el cortisol (C), la testosterona (T) y la relación testosterona/cortisol (T/C). En un estudio piloto se comprobó la

evolución de estos parámetros en cinco semanas previas a una competición de importancia en triatletas de élite⁹. Uno de los problemas metodológicos que encontraron estos autores fue el número tan elevado de extracciones sanguíneas a las que tuvieron que someterse los triatletas. Otro de los problemas encontrados fue el establecer una posible relación entre la percepción subjetiva de la carga de entrenamiento y determinados parámetros bioquímicos⁹.

Por todo lo anteriormente señalado, el objetivo de este estudio fue determinar la evolución de CK, U, C, T y T/C a lo largo de 3 microciclos (M) de entrenamiento, comparando los valores tras una sesión de entrenamiento intenso con los obtenidos tras una sesión de recuperación. Como objetivos secundarios planteamos 1) comparar el porcentaje de cambio en estas variables con respecto al valor obtenido como referencia entre los tres microciclos; 2) comparar la percepción subjetiva de los atletas tras la sesión de entrenamiento y la de recuperación y 3) estudiar las posibles relaciones entre las variables bioquímicas y las percepciones subjetivas de los triatletas.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

Seis triatletas de élite de género masculino, competidores a nivel internacional participaron voluntariamente en el estudio [20,3 ± 0,5 años; 176,2 ± 4,3 cm; 66 ± 5 kg; Consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}): 73,3 ± 5,1 ml/kg/min]. Previamente a la realización del estudio todos los sujetos fueron informados verbalmente y por escrito de las características, objetivos y riesgos del estudio. En todos los casos se obtuvo su consentimiento informado elaborado de acuerdo con las normas de la Declaración de Helsinki para la investigación con seres humanos.

Protocolo del estudio

Los triatletas siguieron la planificación de entrenamiento realizada por los responsables de

la Federación Española de triatlón. Las extracciones de sangre se realizaron a lo largo de un periodo de entrenamiento de 31 semanas, dividido en 7 mesociclos y 31 microciclos (Figura 1). En total se realizaron 7 extracciones sanguíneas correspondientes a: octubre, analítica de referencia cuando los triatletas habían estado en periodo de descanso; diciembre, dos analíticas (entrenamiento y recuperación) en la semana octava del periodo de entrenamiento y final del segundo mesociclo y octavo microciclo (M1); marzo, dos analíticas (entrenamiento y recuperación) en la semana 22 del periodo de entrenamiento y final del quinto mesociclo y microciclo 22 (M2); mayo, dos analíticas (entrenamiento y recuperación) en la semana 31 del periodo de entrenamiento y final del último mesociclo y microciclo 31 (M3). Las extracciones de sangre se realizaron en ayunas todos los miércoles y jueves de las semanas 8, 22 y 31 del periodo de entrenamiento, de manera que se asumió que la analítica del miércoles correspondía al efecto de la carga (entrenamiento) y la del jueves al efecto de la recuperación, ya que los miércoles se realizaba una única sesión de recuperación. En todas las analíticas se analizaron las siguientes variables: CK, U, C, T y T/C. Para las variables CK, U y T/C se calculó el porcentaje de cambio (% de cambio) con respecto al valor obtenido como referencia, tanto en las muestras de entrenamiento como de recuperación.

En cada microciclo de entrenamiento la carga fue individualizada para cada deportista en cada una de las especialidades de esta disciplina deportiva, registrándose los datos de entrenamiento así como los de percepción de la carga y recuperación. Se registró el volumen, el tiempo y la carga de entrenamiento, que se obtuvo multiplicando la distancia recorrida por un índice correspondiente al objetivo de la sesión de entrenamiento⁹ (Tabla 1). Para el registro de la percepción de la carga y recuperación se utilizaron las siguientes escalas: esfuerzo percibido¹⁰, percepción general de la carga^{9,11}, percepción general del cansancio y estado de ánimo¹² y sueño^{9,11}. Cada triatleta anotaba día a día. Las escalas subjetivas para los diferentes parámetros estudiados se muestran en la Tabla 2.

Variables bioquímicas

Todas las muestras sanguíneas fueron extraídas de una vena del antebrazo utilizando un sistema de vacío con tubos Vacutainer (Ref. 367953), con activador de la coagulación y gel separador. Una vez extraídas, las muestras sanguíneas se dejaron reposar a temperatura ambiente unos 20-30 min y posteriormente, se centrifugaron a 4000 rpm durante 10 minutos también a temperatura ambiente. Tras la centrifugación se obtuvo el suero (separado del coágulo por el gel) en el que se realizaron las determinaciones bioquímicas.

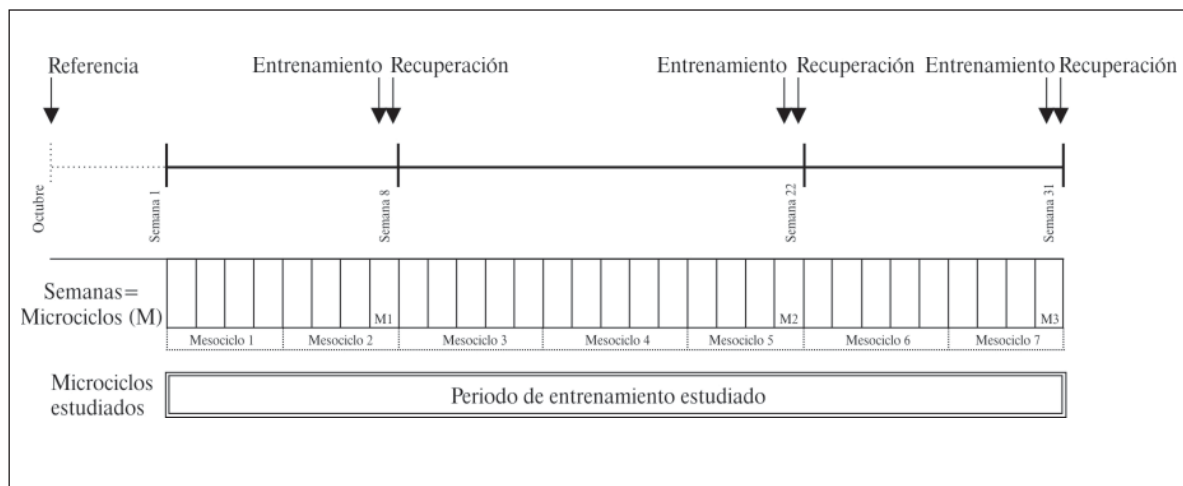


FIGURA 1. Distribución de las siete extracciones sanguíneas en los tres microciclos estudiados (M1, M2 y M3), correspondientes a las semanas 8, 22 y 31 del periodo de entrenamiento analizado. Las flechas indican los momentos de extracción sanguínea

TABLA 1.
Descripción del
entrenamiento
en cada uno de
los microciclos
estudiados.
Los resultados
se expresan
como media
 \pm desviación
estándar (D.E.)

			Número sesiones	Volumen (km)	Tiempo (min)	Carga		
M1	Entrenamiento	Natación	1,1 \pm 0,1	4,7 \pm 0,5	79,9 \pm 8,1	2,8 \pm 0,7		
		Ciclismo	0,3 \pm 0	7,5 \pm 0	15 \pm 0	0,3 \pm 0,1		
		Carrera	0,6 \pm 0,1	5,2 \pm 2,3	22,3 \pm 9,3	0,8 \pm 0,4		
		Gimnasio	0,5 \pm 0,2		11,7 \pm 2,4	0,1 \pm 0		
		Total	1,8 \pm 0,8	12,8 \pm 5,0	100,3 \pm 39,8	3,3 \pm 1,3		
	Recuperación	Natación	1 \pm 0	3,4 \pm 1,10	57,5 \pm 18,7	1,8 \pm 0,3		
		Gimnasio	1 \pm 0		20,0 \pm 0	0,4 \pm 0,1		
		Total	1,8 \pm 0,4	3,4 \pm 1,1	74,2 \pm 26,5	1,1 \pm 1,0		
		M2	Entrenamiento	Natación	1,3 \pm 0	4,3 \pm 0,2	73,3 \pm 3,5	3,4 \pm 0,1
				Ciclismo	0,7 \pm 0	33,9 \pm 4,1	63,7 \pm 7,7	1,1 \pm 0,1
Carrera	0,7 \pm 0,1			5,4 \pm 1,1	22,8 \pm 4,7	0,6 \pm 0,2		
Gimnasio	0,7 \pm 0				20,0 \pm 0	0,5 \pm 0		
Total	3,4 \pm 0,1			43,6 \pm 5,0	179,7 \pm 12,0	5,6 \pm 0,3		
Recuperación	Natación		1 \pm 0	2,0 \pm 0	34,0 \pm 0			
	Carrera		1 \pm 0	7,7 \pm 1,2	32,5 \pm 5,0	0,3 \pm 0		
	Total		1,8 \pm 0,4	8,1 \pm 3,6	60,0 \pm 15,2	0,3 \pm 0		
	M3		Entrenamiento	Natación	1 \pm 0	3,8 \pm 0,4	65,5 \pm 6,7	2,3 \pm 0,4
				Ciclismo	0,8 \pm 0,2	34,3 \pm 7,5	62,7 \pm 13,6	1,3 \pm 0,5
Carrera		0,5 \pm 0,2		6,0 \pm 2,7	25,2 \pm 10,8	1,5 \pm 0,7		
Gimnasio		0,3 \pm 0			10,0 \pm 0	0,2 \pm 0		
Total		2,6 \pm 0,4		44,1 \pm 9,5	161,4 \pm 27,0	5,2 \pm 1,3		
Recuperación		Natación	1 \pm 0	2 \pm 0	34,0 \pm 0			
		Carrera	1 \pm 0	7,2 \pm 0,2	30, \pm 0	0,3 \pm 0		
		Total	1,8 \pm 0,4	7,8 \pm 3,2	58,0 \pm 13,4	0,3 \pm 0		

M1: Microciclo 1; M2: Microciclo 2; M3: Microciclo 3.

Los parámetros bioquímicos U y CK fueron analizados en un analizador Olympus AU400 (Olympus España, SA), con reactivos Olympus (CK OSR6179 y U OSR6134). Los parámetros C y T fueron analizados mediante la técnica de ECLIA (electroquimioluminiscencia) en un analizador Elecsys 2010 (Roche Diagnostics, SA), con reactivos específicos para el analizador Elecsys 2010 (C Ref. 1875116 y T Ref. 1776061). Los valores de referencia y el coeficiente de variación de los parámetros medidos son: U 20-57 mg/dl y 2,98%, CK 20-250 U/l y 3,89%, C 5-25 μ g/dl y 13,96% y T 1,5-12 μ g/dl y 9,36%, respectivamente. Los análisis fueron realizados en el

Laboratorio Clínico del Centro de Medicina del Deporte de la Subdirección General de Deporte y Salud del Consejo Superior de Deportes (CSD).

Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante el programa estadístico SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Se utilizó la prueba Friedman para evaluar el cambio producido entre los tres microciclos y con respecto a los valores de referencia, y para comparar el porcentaje de cambio correspondiente a los tres microciclos con respecto a los valores de referencia producidos tanto en el

Valoración	Esfuerzo percibido	Estado de ánimo	Percepción general de carga	Sueño
1	Inapreciable	Eufórico	Inapreciable	Muy profundo
2	Muy débil	Motivadísimo	Muy débil	Profundo
3	Débil	Muy motivado	Débil	Bueno
4	Ligero	Motivado	Ligera	Regular
5	Moderado	Normal	Moderada	Superficial
6	Algo duro	Algo apático	Algo dura	Despierto a veces
7	Duro	Apático	Dura	Inquieto
8	Muy duro	Muy apático	Muy dura	Muy inquieto
9	Durísimo	Desmotivado	Durísima	Apenas dormí
10	Extremo	Abúlico	Extrema	Noche en vela

TABLA 2.
Escala
subjetivas para
la valoración
del esfuerzo
percibido,
el estado de
ánimo, la
percepción
general de la
carga y el sueño

		Entrenamiento	Recuperación
CK (U/l)	Referencia	129,5 ± 80,2	129,5 ± 80,2
	M1	303,2 ± 141,8	211,3 ± 65,4*
	M2	316,2 ± 134,1	238,2 ± 149*
	M3	383,3 ± 231,0	209,8 ± 98,2*
U (mg/dl)	Referencia	36,2 ± 5,2	36,2 ± 5,2
	M1	36,1 ± 7,7	37,0 ± 4,8
	M2	42,9 ± 6,1	41,9 ± 7,3
	M3	43,3 ± 8,6	40,0 ± 9,6
C (μg/dl)	Referencia	21,2 ± 2,6	21,2 ± 2,6
	M1	24,0 ± 2,9	25,1 ± 4,1
	M2	25,0 ± 2,4	24,4 ± 3,7
	M3	23 ± 2,3	18,9 ± 2,7*
T (μg/dl)	Referencia	6,2 ± 1,6	6,2 ± 1,6
	M1	7,4 ± 1,8	7,7 ± 1,7
	M2	5,4 ± 1,0	5,9 ± 0,8
	M3	5,5 ± 1,0	5,7 ± 1,4
T/C	Referencia	,030 ± ,007	,030 ± ,007
	M1	,031 ± ,005	,032 ± ,010
	M2	,022 ± ,004	,025 ± ,006
	M3	,024 ± ,005	,031 ± ,010*

TABLA 3.
Media ± D.E.
para la creatina
kinasa (CK),
la urea (U), el
cortisol (C), la
testosterona
(T) y la relación
testosterona/
cortisol (T/C) en
la analítica de
referencia y en
los tres
microciclos tanto
en entrena-
miento como en
recuperación

M1: Microciclo 1; M2: Microciclo 2; M3: Microciclo 3. *Diferencia significativa ($P < 0,05$) entre entrenamiento y recuperación.

momento del entrenamiento, como en el de la recuperación. La prueba de Tukey se utilizó para las comparaciones múltiples a posteriori. La prueba de Wilcoxon fue utilizada para comparar los niveles alcanzados en el momento de entrenamiento y el de recuperación dentro de cada mi-

crociclo. Se calcularon las correlaciones bivariadas para estudiar las relaciones existentes entre los parámetros bioquímicos y las percepciones subjetivas con respecto al esfuerzo, a la carga, al cansancio, al estado de ánimo y a la calidad del sueño. Los resultados se expresan como media

± desviación estándar (D.E.). Además, para los porcentajes medios de cambio con respecto al valor obtenido como referencia se presenta el intervalo de confianza (IC) para la media al 95%. El nivel de significación se fijó en 0,05.

RESULTADOS

En la Tabla 3 se muestran los datos correspondientes a la CK, la concentración de U en plasma, los niveles de C, T y el índice T/C determinados en los dos momentos estudiados (entrenamiento y recuperación) para los tres microciclos considerados junto con el valor de referencia. Hubo diferencias significativas en los valores de CK de entrenamiento ($P < 0,01$), siendo estos significativamente mayores en M2 y M3 que los obtenidos como referencia ($P < 0,01$). Los valores de CK no presentaron diferencias significativas en la recuperación ($P = 0,072$). Por otro lado, los valores de CK de entrenamiento fueron significativamente mayores que los obtenidos en recuperación en los tres microciclos estudiados ($P < 0,05$ para las tres comparaciones). Hubo diferencias significativas en los valores de U de entrenamiento ($P < 0,05$), siendo estos significativamente mayores en M2 y M3 que los obtenidos como referencia ($P < 0,05$). Los valores de U no presentaron diferencias significativas

en la recuperación ($P = 0,066$). Por último, no se observaron diferencias significativas entre el entrenamiento y la recuperación en ninguno de los tres microciclos ($P = 0,463$ para M1; $P = 0,600$ para M2 y $P = 0,173$ para M3). Con respecto al C, no hubo diferencias significativas en los valores de C de entrenamiento ($P = 0,158$) pero sí en los de recuperación ($P < 0,05$). Los valores de C fueron significativamente menores en M3 que en M2. No se observaron diferencias entre los niveles de entrenamiento y los de recuperación, ni en M1 ($P = 0,600$) ni M2 ($P = 0,599$), pero sí hubo diferencias significativas en M3. Con respecto a los niveles de T, se encontraron diferencias significativas en los valores de entrenamiento ($P < 0,05$). Los niveles de T alcanzados en M1 fueron significativamente superiores a los obtenidos en M2 ($P < 0,05$). También se observaron diferencias significativas en recuperación para los niveles de T ($P < 0,05$). Los niveles de T alcanzados en M1 fueron significativamente superiores a los obtenidos como valores de referencia ($P < 0,05$). Sin embargo, los valores alcanzados en entrenamiento no fueron significativamente diferentes de los obtenidos en su correspondiente periodo de recuperación ($P = 0,463$ para M1; $P = 0,248$ para M2 y $P = 0,600$ para M3). El índice T/C mostró diferencias significativas en los valores de entrenamiento ($P < 0,01$). Los niveles alcanzados en M1 fueron significativamente

TABLA 4.
Media ± D.E. e intervalo confidencial (IC) para la media al 95% para el porcentaje de cambio sobre los valores de referencia de CK, U y T/C

		Entrenamiento		Recuperación	
		Media ± D.E.	IC 95%	Media ± D.E.	IC 95%
% de cambio en CK	M1	192,8 ± 233	-51,7 - 437,4	99,3 ± 119,1	-25,7 - 224,3
	M2	163,8 ± 61,9	98,8 - 228,8	86,5 ± 35,9	48,8 - 124,3
	M3	254,6 ± 218,7	25,1 - 484,2	85,1 ± 90,5	-9,9 - 180,1
% de cambio en U	M1	-0,5 ± 12,0	-13,2 - 12,1	3,2 ± 13,9	-11,4 - 17,8
	M2	18,9 ± 8,1	10,3 - 27,4	15,7 ± 12,5	2,5 - 28,9
	M3	19,3 ± 14,3	4,3 - 34,4	10,2 ± 21,2	-12,0 - 32,4
% de cambio en T/C	M1	7,1 ± 18,9	-12,7 - 27	9 ± 34	-26,7 - 44,6
	M2	-24,5 ± 14,6	-39,9 - -9,1	-11,9 ± 27,8	-41,1 - 17,2
	M3	-16,8 ± 18,8	-36,5 - 3	3,9 ± 22,2	-19,4 - 27,2

M1: Microciclo 1; M2: Microciclo 2; M3: Microciclo 3.

		Entrenamiento	Recuperación
		Media ± D.E.	Media ± D.E.
M1	Escala de esfuerzo percibido	5,0 ± 1,3	3,0 ± 1,4*
	Percepción general de carga	4,8 ± 1,6	3,3 ± 2,1*
	Percepción general de cansancio	5,1 ± 2,2	3,3 ± 2,0*
	Estado de ánimo	4,2 ± 1,3	4,0 ± 2,2
	Sueño	3,3 ± 0,7	3,4 ± 1,5
M2	Escala de esfuerzo percibido	6,5 ± 1,0	3,0 ± 1,4*
	Percepción general de carga	5,4 ± 0,8	4,3 ± 1,0*
	Percepción general de cansancio	5,3 ± 1,0	4,8 ± 1,0
	Estado de ánimo	3,1 ± 1,3	3,5 ± 1,3
	Sueño	3,7 ± 1,7	4,3 ± 2,5
M3	Escala de esfuerzo percibido	6,6 ± 0,6	2,8 ± 1,0*
	Percepción general de carga	5,9 ± 0,6	2,5 ± 1,0*
	Percepción general de cansancio	6,4 ± 1,0	5,0 ± 1,1
	Estado de ánimo	3,3 ± 1,5	3,3 ± 1,5
	Sueño	2,9 ± 1,6	3,0 ± 2,0

M1: Microciclo 1; M2: Microciclo 2; M3: Microciclo 3. *Diferencia significativa ($P < 0,05$) entre entrenamiento y recuperación.

TABLA 5. Percepciones subjetivas con respecto al esfuerzo, a la carga, al cansancio, al estado de ánimo y a la calidad del sueño. Los resultados se expresan como media ± D.E

	U	CK	C	T	T/C
Esfuerzo percibido	0,245	0,206	0,265	-0,066	-0,201
Percepción general de carga	-0,085	0,357	0,176	0,045	-0,091
Percepción general de cansancio	0,008	0,091	-0,072	-0,067	-0,040
Estado de ánimo	-0,125	-0,308	0,064	0,373*	0,327
Sueño	-0,437*	-0,416*	0,558**	0,041	-0,275

* $P < 0,05$. ** $P < 0,01$.

TABLA 6. Correlaciones bivariadas entre los parámetros bioquímicos y las percepciones subjetivas con respecto al esfuerzo, a la carga, al cansancio, al estado de ánimo y a la calidad del sueño

superiores a los obtenidos en M2 y M3 ($P < 0,05$ para ambas comparaciones). Este índice no mostró diferencias significativas en los valores de recuperación ($P = 0,241$). El índice alcanzado en entrenamiento no fue diferente del alcanzado en la recuperación ni para M1 ($P = 0,753$) ni para M2 ($P = 0,173$). Sin embargo, en el M3 el índice fue significativamente inferior en entrenamiento ($P < 0,05$).

En la Tabla 4 se presenta el porcentaje de cambio medio con respecto al valor de referencia junto con el IC para la media al 95% para la CK, U

y T/C. No hubo diferencias significativas en el porcentaje de cambio en la CK ni en los valores de entrenamiento ($P = 0,513$) ni en los de recuperación ($P = 0,846$) entre los tres microciclos estudiados. Con respecto a la U, tampoco hubo diferencias significativas ni en los valores de entrenamiento ($P = 0,135$) ni en los de recuperación ($P = 0,115$) entre los tres microciclos estudiados. Por último, el porcentaje de cambio en el índice T/C mostró diferencias significativas en los valores de entrenamiento ($P < 0,01$), pero no en los valores de recuperación ($P = 0,115$). Mientras que en M1 en entrenamiento se pro-

dujo un ligero incremento del índice T/C con respecto al valor de referencia en M2 y M3 se produjo una reducción del mismo.

En la Tabla 5 se muestran las percepciones subjetivas de los atletas con respecto al esfuerzo, a la carga, al cansancio, al estado de ánimo y a la calidad del sueño. En los tres microciclos estudiados los atletas percibieron realizar un mayor esfuerzo y soportar una mayor carga de trabajo en la sesión de entrenamiento con respecto a la de recuperación ($P < 0,05$ para las 6 comparaciones). Mientras que en M1 los atletas se sintieron más cansados en el entrenamiento que en la recuperación ($P < 0,05$), en los microciclos 2 y 3 se percibieron igual de cansados ($P = 0,230$ y $P = 0,096$ respectivamente). Por último, el estado de ánimo no varió del entrenamiento a la recuperación en ninguno de los tres microciclos ($P = 0,360$ para M1, $P = 0,158$ para M2 y $P = 0,425$ para M3) y tampoco se modificó la calidad del sueño ($P = 0,360$ para M1, $P = 0,302$ para M2 y $P = 1$ para M3).

En la Tabla 6 se presentan las correlaciones bivariadas entre los distintos parámetros bioquímicos y la percepción subjetiva del esfuerzo, la carga, el cansancio, el estado de ánimo y la calidad del sueño independientemente del momento en el que fueran evaluados. El estado de ánimo presentó una relación positiva con los niveles de testosterona ($P < 0,05$), y la calidad del sueño disminuyó al incrementarse los niveles de U y CK ($p < 0,05$) y se incrementó al aumentar los niveles de C ($P < 0,01$).

DISCUSIÓN

Este trabajo ha mostrado las variaciones que experimentan determinados parámetros bioquímicos a lo largo de tres microciclos de entrenamiento intenso, comparando los valores tras una sesión de entrenamiento con los alcanzados tras una sesión de recuperación. Así, la CK descendió de forma significativa tras una sesión de recuperación después de haber alcanzado valores significativamente superiores a los de referencia en el M2 y M3. Ni la U ni la T experimentaron variaciones significativas tras una sesión de recu-

peración, mientras que el cortisol sólo descendió significativamente en M3, siendo sus valores cercanos a los de referencia a lo largo de todo el mesociclo. Con respecto a la percepción subjetiva de los atletas, en los tres microciclos estudiados los atletas percibieron realizar un mayor esfuerzo y soportar una mayor carga de trabajo en la sesión de entrenamiento con respecto a la de recuperación.

Creatina kinasa

En este trabajo la CK se mantuvo incrementada en torno al 100 % respecto a los valores de referencia tras la sesión de recuperación en los tres microciclos. Esto podría ser indicativo de un adecuado proceso de adaptación al entrenamiento, ya que ninguno de los atletas estudiados experimentó ningún síntoma de fatiga crónica durante el periodo estudiado, como demuestran los registros de percepción subjetiva de esfuerzo, carga, cansancio, estado de ánimo y calidad del sueño (Tabla 6). La CK descendió tras la sesión de recuperación con respecto a la de entrenamiento en los 3 microciclos y se mantuvo elevada respecto a la concentración de referencia. De los resultados de este estudio se podría asumir que un valor de CK tras la sesión de recuperación dos veces el valor basal no implica, por un lado, peligro de sobreentrenamiento y por otra parte, constituye un fenómeno de adaptación al proceso carga-recuperación¹³. No obstante, es de resaltar que el intervalo de confianza determina que el rango de valores sea muy elevado. Así, para M1 sería admisible que un triatleta tuviera un valor de CK durante la recuperación incluso inferior al de referencia en un 25 % (IC 95 % en M1 para CK = -25,7-224,3). La razón de esta posibilidad podría radicar en que la carga de entrenamiento para un triatleta concreto no hubiera sido suficiente.

La concentración de CK, tanto en entrenamiento como en recuperación, parece depender del tipo de ejercicio, de las características del mismo y del nivel de entrenamiento. El trabajo muscular excéntrico, que provoca gran daño muscular, desencadena concentraciones de CK después del ejercicio de hasta 311% sobre el valor de referen-

cia diez días después de mismo, registrándose concentraciones de hasta 6420% 4 días después¹⁴ y 1022% 7 días después del trabajo muscular intenso¹⁵. Aunque en menor medida, el trabajo dinámico también desencadena incrementos de CK post entrenamiento de hasta 34,71 veces los valores de reposo¹⁶, valores muy superiores a los encontrados en nuestro estudio. Estas diferencias pueden deberse a que estos autores utilizaron un tipo de ejercicio con un mayor número de acciones musculares que desencadenaron en lesión muscular¹⁶. La intensidad y duración del ejercicio afectan menos a la concentración pico de CK y por consiguiente a la recuperación de esta variable. Sesiones de entrenamiento interválico intensivo provocaron valores elevados de CK que se mantuvieron elevados 24 horas después de finalizado el ejercicio^{17,18}. La duración del ejercicio no parece afectar de forma importante, pues tras un ejercicio prolongado la concentración de CK aumenta ligeramente respecto a los valores encontrados cuando se realiza una sesión de entrenamiento intenso^{19,20}. En relación al grado de entrenamiento, hay resultados dispares. Mientras que algunos autores han encontrado menores niveles de CK en deportistas que en sedentarios^{21,22}, otros indican que la concentración de CK está más determinada por la duración y tipo de ejercicio que por el nivel de condición física²³.

Urea

En cuanto a la U, esta se mantuvo ligeramente elevada respecto al valor de referencia tras la sesión de recuperación en los tres momentos estudiados: 3,2% en M1, 15,7% en M2 y 10,2% en M3. Si consideramos el valor de 49,8 mg/dl de U como valor límite sugerente de estado de sobreentrenamiento en varones²⁴, podemos comprobar que en este estudio no se alcanzó esta concentración. Además, pensamos que el porcentaje de cambio de la U tras una sesión de recuperación sería más adecuado al objeto de determinar un posible estado de sobreentrenamiento. Atendiendo al IC los valores de U tras la recuperación se elevaron con respecto a los valores de referencia hasta un 32,4% (M3), mientras que también descendieron hasta un 12% (M3).

Esta gran variación es compleja de analizar desde el punto de vista de la relación producción/concentración de este metabolito. La U es un metabolito cuya síntesis se realiza a través de una serie de reacciones cíclicas en los hepatocitos, mientras que la eliminación a sangre depende de la actividad metabólica hepática y renal con este producto del metabolismo de los aminoácidos. Lo indicado significa una limitación del estudio, pues no se ha controlado la eliminación de urea por orina y sudor. Por último, señalar que aunque no hemos obtenido diferencias significativas entre las concentraciones de U medidas tras las sesiones de entrenamiento y las sesiones de recuperación, otros trabajos sí han mostrado cambios entre ejercicio y recuperación²⁵.

Índice testosterona/cortisol

Las concentraciones de T y C, así como la relación entre estas hormonas (T/C), tras la sesión de recuperación en los tres microciclos estudiados sugieren la complejidad del control hormonal. En efecto, el porcentaje de cambio del índice T/C tras la sesión de recuperación es positivo en M1 (34%) y negativo en M2 (-11,9%). El IC al 95% indica que tras una sesión de recuperación posterior a un entrenamiento de sobrecarga se produce una respuesta de gran variabilidad en la secreción de T y C, indicando la complejidad de regulación de estas dos hormonas. Varios estudios consideran que un descenso del índice T/C superior al 30% con respecto al valor de referencia puede ser indicativo de estado de sobreentrenamiento^{7,8,26,27}, aunque este valor límite está sujeto a discusión⁹. En nuestro estudio los valores medios de la relación T/C no alcanzaron este porcentaje de descenso con respecto a los valores basales.

La T, salvo en M1 donde la concentración fue mayor que la de referencia, tendió a descender en los siguientes microciclos y tras la sesión de recuperación se mantuvo en los mismos valores. Otros autores indican que la T se encuentra por debajo de los valores medidos en los días de referencia, pero también señalan que el desequilibrio de la homeostasis producido a consecuencia del entrenamiento anaeróbico se restablece a las 24

horas de finalizado el ejercicio¹⁷. Por el contrario el C tendió a aumentar de forma no significativa con respecto al valor de referencia, pero dentro de los valores descritos por otros trabajos²⁸ y con la misma ausencia de diferencias entre el entrenamiento y la recuperación²⁹.

En resumen, este estudio muestra las variaciones que experimentan la CK, la U, la T y el C a lo largo de tres microciclos de entrenamiento intenso, comparando los valores tras una sesión de entrenamiento con los alcanzados tras una sesión de recuperación, en los que ninguno de los deportistas experimentó ningún síntoma de fatiga crónica, aunque percibieron realizar un

mayor esfuerzo y soportar una mayor carga de trabajo en la sesión de entrenamiento con respecto a la de recuperación. El único parámetro bioquímico que experimentó variaciones significativas importantes fue la CK, que incrementa tras el entrenamiento y desciende tras una sesión de recuperación, mientras que la U, la T y el C no varían tras una sesión de recuperación. Pensamos que la monitorización del entrenamiento requiere: primero una analítica realmente basal, es decir, cuando el deportista esté realmente en periodo de descanso. Segundo, realizar analíticas periódicas en los periodos de recuperación y compararlas con los parámetros correspondientes en la analítica de referencia.

B I B L I O G R A F Í A

- Rowlands DS, Downey B.** Physiology of Triathlon. En: Garret WEJ, Kirkendall DT. Exercise and Sport Science. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins. 2000;919-939.
- Millet GP, Vleck VE, Bentley DJ.** Physiological differences between cycling and running: lessons from triathletes. *Sports Med.* 2009;39:179-206.
- Calderón FJ, Zapico AG, Benito PJ, Legido JC.** Adaptación biológica al entrenamiento de resistencia. *Arch Med Deporte.* 2004;21:317-27.
- O'Toole ML.** Overreaching and overtraining in endurance athletes. En: Kreider RB, Fry AC, O'Toole ML. Overtraining in sport. Champaign, IL: Human Kinetics; 1997.
- Sharp NC, Koutedakis Y.** Sport and the overtraining syndrome: immunological aspects. *Br Med Bull.* 1992;48:518-33.
- Calderón FJ, Benito PJ, Meléndez A, González-Gross M.** Control biológico del entrenamiento de resistencia. *RICYDE: Revista Internacional del Ciencias del Deporte* 2005;2: 65-78.
- Booth CK, Probert B, Forbes-Ewan C, Coad RA.** Australian army recruits in training display symptoms of overtraining. *Mil Med.* 2006;171:1059-64.
- Chicharro JL, Lopez-Mojares LM, Lucia A, Perez M, Alvarez J, Labanda P, et al.** Overtraining parameters in special military units. *Aviat Space Environ Med.* 1998;69:562-8.
- Díaz V, Díaz E, Peinado AB, Benito PJ, Calderón FJ, Sampedro J.** Control biológico del sobreentrenamiento en un mesociclo precompetitivo en triatletas de élite: un estudio piloto. *Arch Med Deporte.* 2010;27:31-40.
- Borg G.** Borg's Perceived Exertion and Pain Scales. Champaign, IL: Human Kinetics; 1998.
- Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A, Gordon RD, Bachmann AW.** Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med Sci Sports Exerc.* 1995;27:106-112.
- Vleck VE, Garbutt G.** Development of Triathlon Specific Normative Data for the Profile of Mood State. *J Sports Sci.* 1998;16:399.
- Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM.** Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull.* 2007;81-82:209-30.
- Clarkson PM, Kearns AK, Rouzier P, Rubin R, Thompson PD.** Serum creatine kinase levels and renal function measures in exertional muscle damage. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:623-7.
- Schwane JA, Buckley RT, Dipaolo DP, Atkinson MA, Shepherd JR.** Plasma creatine kinase responses of 18- to 30-yr-old African-American men to eccentric exercise. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:370-8.

16. **Nicholson GA, Morgan GJ, Meerkin M, Strauss ER, McLeod JG.** The effect of aerobic exercise on serum creatine kinase activities. *Muscle Nerve* 1986;9:820-4.
17. **Fry RW, Morton AR, Garcia-Webb P, Keast D.** Monitoring exercise stress by changes in metabolic and hormonal responses over a 24-h period. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1991;63:228-34.
18. **Twist C, Eston R.** The effects of exercise-induced muscle damage on maximal intensity intermittent exercise performance. *Eur J Appl Physiol*. 2005;94:652-8.
19. **Staubli M, Roessler B, Kochli HP, Peheim E, Straub PW.** Creatine kinase and creatine kinase MB in endurance runners and in patients with myocardial infarction. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 1985;54:40-5.
20. **Smith LL, Fulmer MG, Holbert D, McCammon MR, Houmard JA, Frazer DD, et al.** The impact of a repeated bout of eccentric exercise on muscular strength, muscle soreness and creatine kinase. *Br J Sports Med*. 1994;28:267-71.
21. **Karamizrak SO, Ergen E, Tore IR, Akgun N.** Changes in serum creatine kinase, lactate dehydrogenase and aldolase activities following supramaximal exercise in athletes. *J Sports Med Phys Fitness*. 1994;34:141-6.
22. **Garry JP, McShane JM.** Postcompetition elevation of muscle enzyme levels in professional football players. *MedGenMed*. 2000;2:E4.
23. **Koutedakis Y, Raafat A, Sharp NC, Rosmarin MN, Beard MJ, Robbins SW.** Serum enzyme activities in individuals with different levels of physical fitness. *J Sports Med Phys Fitness*. 1993;33:252-7.
24. **Hartmann U, Mester J.** Training and overtraining markers in selected sport events. *Med Sci Sports Exerc*. 2000;32:209-15.
25. **Lehmann M, Dickhuth HH, Gendrisch G, Lazar W, Thum M, Kaminski R, et al.** Training-overtraining. A prospective, experimental study with experienced middle- and long-distance runners. *Int J Sports Med*. 1991;12:444-52.
26. **Banfi G, Dolci A.** Free testosterone/cortisol ratio in soccer: usefulness of a categorization of values. *J Sports Med Phys Fitness*. 2006;46:611-6.
27. **Handziski Z, Maleska V, Petrovska S, Nikolik S, Mickoska E, Dalip M, et al.** The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/cortisol ratio in professional soccer players during a competition half-season. *Bratisl Lek Listy*. 2006;107:259-63.
28. **Houmard JA, Costill DL, Mitchell JB, Park SH, Fink WJ, Burns JM.** Testosterone, cortisol, and creatine kinase levels in male distance runners during reduced training. *Int J Sports Med*. 1990;11:41-5.
29. **Steinacker JM, Laske R, Hetzel WD, Lormes W, Liu Y, Stauch M.** Metabolic and hormonal reactions during training in junior oarsmen. *Int J Sports Med* 1993;14:S24-S28.