

CONTROL BIOLÓGICO DEL SOBREENENTRENAMIENTO EN UN MESOCICLO PRECOMPETITIVO EN TRIATLETAS DE ÉLITE: UN ESTUDIO PILOTO

BIOLOGICAL CONTROL OF TRAINING DURING THE PRECOMPETITIVE PERIOD IN ELITE TRIATHLETES: A PILOT STUDY

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue controlar la evolución de parámetros bioquímicos comúnmente relacionados con el sobreenentrenamiento en cinco semanas previas a una competición de importancia en triatletas de élite. Durante cinco semanas se controló el entrenamiento de cinco triatletas masculinos de élite (VO_{2max} $77,6 \pm 5,1$ mL \cdot min $^{-1}$ \cdot kg $^{-1}$). En este periodo, se fijó una estructura de los microciclos con un día de carga seguido de otro de recuperación. En los días posteriores a la carga y la recuperación se obtuvieron muestras sanguíneas para la determinación de la concentración de urea (U), creatin kinasa (CK), testosterona total (T) y cortisol total (C). El entrenamiento se controló obteniendo datos de las distancias recorridas en natación, ciclismo y carrera. El volumen total de entrenamiento varió entre un máximo de 78,1 km en el microciclo 3 y 40,8 km en el microciclo 4. Tanto U como CK experimentaron un aumento significativo (comparado con valores de referencia al inicio de la temporada) durante la carga en cuatro de las cinco semanas de estudio. Además, tras la recuperación estos parámetros no volvieron a los valores de referencia de dos semanas para la CK y tres semanas para la U, sin embargo, ninguno de los triatletas experimentó otros síntomas de sobreenentrenamiento tales como falta de sueño. Por otro lado, la relación T/C no descendió más del 30% respecto a la analítica de referencia en ninguno de los microciclos. Así, concluimos que los triatletas de élite, ante un mesociclo controlado y bajo supervisión bioquímica periódica del entrenamiento no parecen percibir ni experimentar síntomas de sobreenentrenamiento durante las semanas previas a una competición.

Palabras clave: Sobreenentrenamiento. Testosterona. Cortisol. Urea. Creatin kinasa.

SUMMARY

The aim of this study was to control the evolution of biochemical parameters commonly associated with overtraining in five weeks before a major competition in elite triathletes. During five weeks, training was controlled in five elite male triathletes (VO_{2max} $77,6 \pm 5,1$ mL \cdot min $^{-1}$ \cdot kg $^{-1}$). In this period, microcycles structure was fixed with one day of high load followed by another of recovery. The days after the loading and recovery blood samples were obtained to determine the concentration of urea (U), creatine kinase (CK), total testosterone (T) and total cortisol (C). Training volume was obtained from distances covered in swimming, cycling and running. Total volume training changed from a maximum of 78,1 km during microcycle 3 and 40,8 km during microcycle 4. Both, U and CK experienced a significant increase (compared with reference values at the start of the season) during loading in four of the five weeks of study. Moreover, following the recovery, these parameters did not returned to the baseline levels in two weeks for the CK and three weeks for the U. However, triathletes did not report any overtraining symptom as lack of sleep. Furthermore, the relation T/C did not fall more than 30% of the analytical reference. Thus, we concluded that the elite triathletes do not experience symptoms of overtraining during the weeks before a competition, at least when it is assessed by biochemical parameters.

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

Víctor Díaz Molina¹

Enrique Díaz Martínez²

Ana Belén Peinado³

Pedro José Benito³

Francisco J. Calderón³

Javier Sampedro⁴

¹Institute of Veterinary Physiology and Vetsuisse Faculty, Zurich Center for Integrative Human Physiology (ZIHP) and University of Zurich, Zurich, Switzerland.

²Laboratorio Clínico. Centro de Medicina del Deporte. Consejo Superior de Deportes. Madrid

³Laboratorio de Fisiología del Esfuerzo, Departamento de Salud y Rendimiento Humano. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte – INEF, Universidad Politécnica de Madrid

⁴Laboratorio de Análisis de la Actividad Física, Departamento de Deportes. Facultad de Ciencias de la Actividad Física y del Deporte – INEF, Universidad Politécnica de Madrid

CORRESPONDENCIA:

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

Aceptado: 13.01.2010 / Original n° 564

INTRODUCCIÓN

El triatlón es un deporte que combina de forma sucesiva tres disciplinas deportivas: natación, ciclismo y carrera a pie. La distancia olímpica comprende 1,5 km de natación, 40 km de ciclismo y 10 km de carrera a pie. Bajo estas circunstancias, el tiempo medio en completar la prueba de triatletas de élite (tomando a los 10 primeros clasificados) es de $106,9 \pm 4$ minutos en hombres y $120,2 \pm 5,8$ minutos en las mujeres¹. Así, el triatlón puede considerarse en su conjunto como un deporte de resistencia cuyas peculiaridades se han tratado en varias revisiones²⁻⁵. De forma general, a los factores que típicamente se asocian con el rendimiento en deportes de resistencia⁶, se añade un gran rendimiento técnico en cada uno de los deportes y de una rápida adaptación fisiológica a cada nueva especialidad durante las transiciones^{2-4,6-7}.

Como deporte de resistencia, el entrenamiento del triatlón presenta una planificación anual similar a la del ciclismo o el maratón. El entrenamiento fraccionado supone para el organismo un estrés notable y el proceso de adaptación es fundamental en la planificación del entrenamiento⁸⁻¹⁰. Se ha observado que los triatletas entrenan sobre distancias menores en cada una de las disciplinas comparados con los especialistas de cada deporte; sin embargo, el número total de horas de entrenamiento de cada sesión es mayor en los triatletas que en los especialistas¹¹⁻¹³. Así, la adaptación al entrenamiento y la consecutiva mejora del rendimiento dependerá del control del volumen, intensidad y periodos de descanso¹⁴, pues de otra forma, el atleta puede desarrollar fatiga aguda o crónica¹⁵. Una de las herramientas más utilizadas para la prevención de la fatiga crónica es el control biológico del entrenamiento¹⁰, pero los estudios realizados en este contexto y con atletas de élite son muy escasos.

Varios trabajos han intentado determinar los marcadores biológicos de sobreentrenamiento que mejor pueden definir un estado de fatiga crónica o sobreentrenamiento^{10,15-18}. A estos parámetros se les conoce como “marcadores biológicos de sobreentrenamiento”. Sin embargo, al ser el

sobreentrenamiento un estado generalizado del organismo, no existe unanimidad entre los investigadores sobre cuál de los marcadores biológicos es más adecuado para prevenir la aparición del mismo. A pesar de las dificultades en detectar este estado, de entre los parámetros sanguíneos utilizados como indicadores de sobreentrenamiento (aminoácidos¹⁹⁻²², creatin kinasa y creatinina^{18,23}, enzimas medidas en suero²³, productos del metabolismo como el lactato²³⁻²⁴, amoniaco^{18,25-26} o urea¹⁸) los principales parámetros que comúnmente se pueden determinar mediante un análisis de sangre y son útiles en la práctica para caracterizar esta situación son¹⁰: urea (U), creatin kinasa (CK), cortisol total (C) y testosterona total (T) y relación testosterona/cortisol (T/C).

Así, el objetivo general de este trabajo fue determinar la evolución de los parámetros que habitualmente se determinan en una analítica para deportistas, a lo largo de un periodo de entrenamiento de elevada carga en las 5 semanas previas a una competición de importancia (Campeonato de Europa o Copa del Mundo). Y específicamente 1) comprobar si tras un periodo de carga, los parámetros bioquímicos descendían a consecuencia de un entrenamiento de recuperación 2) comprobar si un periodo de elevada carga durante un mesociclo de 5 semanas determina una variación en los parámetros bioquímicos que pudiera sugerir un estado de sobreentrenamiento o fatiga crónica.

MATERIAL Y MÉTODOS

Sujetos

Cinco triatletas de élite de género masculino, competidores a nivel internacional participaron voluntariamente en el estudio cuyas características se muestran en la Tabla 1. Previamente a la realización del estudio todos 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.

Edad	Peso	Talla	VO _{2max}	VT ₁	VT2	FC _{max}	% grasa
(años)	(kg)	(cm)	(ml • min ⁻¹ • kg ⁻¹)	(%VO _{2max})	(%VO _{2max})	(lat • min ⁻¹)	
24,8±5,6	71,9±6,8	180,2±8,6	77,6±5,1	64,1 ± 5,2	81,0 ± 4,4	172 ± 3	8,3 ± 0,4

El consumo de oxígeno máximo (VO_{2max}) y la frecuencia cardiaca máxima (FC_{max}) fueron calculados en una prueba en cicloergómetro. Los umbrales ventilatorios (VT₁ – VT₂) se calcularon mediante la combinación de los métodos más utilizados y siguiendo las indicaciones de Gaskill y colaboradores⁴⁵.

TABLA 1.
Características del grupo estudiado al inicio de la temporada

Protocolo del estudio

El estudio se desarrolló durante cinco semanas previas a competiciones importantes, Campeonato de Europa o prueba de la Copa del Mundo. Cada semana se estableció como un microciclo de entrenamiento, cuya carga fue individualizada para cada deportista por el entrenador. Los investigadores no intervinieron ni fijaron las cargas, sin embargo se determinó la estructura del microciclo como sigue: lunes, martes, jueves, viernes y sábado se realizaban sesiones con volúmenes de entrenamiento altos (superiores a los 45km de distancia total). Los miércoles se realizaba una única sesión de recuperación y los domingos se fijaron como días de descanso. Durante las cinco semanas se realizaron extracciones de sangre en ayunas todos los miércoles y jueves, de manera que se asumió que la analítica del miércoles correspondía al efecto de la carga y la del jueves a efecto de la recuperación. Además, una primera analítica al inicio de la temporada y tras una semana de entrenamiento ligero fue utilizada como valor de referencia.

Caracterización del entrenamiento

Para caracterizar el entrenamiento, se consideró la distancia total y la recorrida en cada una de las disciplinas del triatlón como el volumen de entrenamiento²⁷. Por otro lado, se determinó la carga de entrenamiento mediante la multiplicación de la distancia recorrida por un índice correspondiente al objetivo de la sesión de entrenamiento, modificando procedimientos anteriormente publicados²⁷⁻²⁹. Este índice fue proporcionado por el entrenador y las correspondencias con el objetivo del entrenamiento se muestran en la Tabla 2. Además, se obtuvo de los diarios de entrenamiento de los sujetos registros de la calidad del sueño y de la percepción de la carga de entrenamiento según los modelos de la Tabla 3³⁰⁻³².

Objetivo	Índice
Regenerativo	1
Umbral aeróbico	2
Inter-umbrales	3
Umbral anaeróbico	4
VO _{2max}	5
Técnica	1

TABLA 2.
Correspondencia entre el objetivo de entrenamiento y el índice de intensidad²⁷⁻²⁹

Percepción de la carga	Calidad del Sueño
Inapreciable	Muy profundo
Muy débil	Profundo
Débil	Bueno
Ligera	Regular
Moderada	Superficial
Algo dura	Despierto a veces
Dura	Inquieto
Muy dura	Muy inquieto
Durísima	Apenas dormí
Extrema	Noche en vela

TABLA 3.
Codificación para la recogida de la percepción de la carga y la calidad del sueño³⁰⁻³²

Variables bioquímicas

En cada analítica realizada, se determinaron las variables hematológicas comunes y las concentraciones de urea, CK, testosterona y cortisol.

Los parámetros bioquímicos urea y CK, fueron analizados en un analizador OLYMPUS AU400 (OLYMPUS ESPAÑA, SA), con reactivos OLYMPUS. El cortisol total y testosterona total libre fueron analizados mediante la técnica de ECLIA (electroquimioluminiscencia) en un analizador ELECYS 2010 (Roche Diagnostics, SA), con reactivos específicos para el analizador ELECYS 2010 (Cortisol Ref. 1875116, Testosterona Ref. 1776061).

Análisis estadístico

Se realizó un análisis descriptivo de las variables con el fin de conocer su evolución a lo largo del periodo de estudio. Todas las analíticas se compararon con la muestra de referencia mediante un test no paramétrico de Wilcoxon. Por otro lado, se realizó un ANOVA de un factor para comparar las cargas y las recuperaciones de cada semana. Finalmente, se realizó un análisis de correlación de Pearson para conocer la relación entre las variables bioquímicas estudiadas y el volumen de entrenamiento.

Todo el análisis estadístico se llevó a cabo con el software SPSS 13.0. y el nivel de significación de fijó en $p < 0,05$.

RESULTADOS

En la Tabla 4 se muestran los datos correspondientes al entrenamiento por cada una de las

disciplinas que componen el triatlón, así como el total. Los volúmenes de entrenamiento encontrados son comparables a los presentados anteriormente para triatletas altamente entrenados^{1,33}. Un análisis cualitativo de los datos presentados en la tabla revelan que el volumen total fue mayor durante el periodo de carga respecto al de recuperación durante los microciclos 1, 2 y 4, mientras que en los microciclos 3 y 5 los triatletas disminuyeron el volumen en el periodo de entrenamiento respecto al de recuperación. La carga total a lo largo de los 5 microciclos únicamente fue superior en el periodo de recuperación durante el microciclo 3. En ningún caso, las diferencias fueron estadísticamente significativas.

En la Tabla 5 se muestran los datos correspondientes a la CK determinados en los dos momentos (carga y recuperación) durante los 5 microciclos. En los 3 primeros microciclos, la CK experimentó un aumento significativo en relación a los valores de referencia. En el 4º microciclo la CK se situó en valores cercanos a los

TABLA 4. Volumen (expresado en kilómetros) y carga de entrenamiento en cada uno de los microciclos (modificado de Zapico y colaboradores²⁷). Los resultados se expresan como media \pm desviación estándar

	Natación		Ciclismo		Carrera		Total	
	Volumen	Carga	Volumen	Carga	Volumen	Carga	Volumen	Carga
Referencia								
Entrenamiento	2,0 \pm 0,5	2,0 \pm 0,5	20,4 \pm 8,2	15,4 \pm 8,2	-	-	22,4 \pm 7,3	22,4 \pm 7,3
Recuperación	2,0 \pm 0,0	2,0 \pm 0,0	10,0 \pm 5,2	10,0 \pm 5,2	-	-	12,0 \pm 5,2	12,0 \pm 5,2
M1								
Entrenamiento	15,3 \pm 3,9	11,9 \pm 8,4	40,6 \pm 8,7	12,7 \pm 1,5	13,3 \pm 1,1	11,5 \pm 2,5	69,3 \pm 28,4	36,2 \pm 9,8
Recuperación	2,4 \pm 1,6	4,4 \pm 2,5	46 \pm 30,7	24,7 \pm 16,5	9,2 \pm 1,5	5,5 \pm 0,9	57,7 \pm 33,8	34,7 \pm 20,3
M2								
Entrenamiento	4,5 \pm 1,3 †	14,9 \pm 6,7	33,5 \pm 5	14,2 \pm 1,5	12 \pm 13,4	11,8 \pm 2,0	50 \pm 6,8	41 \pm 8,9
Recuperación	3,1 \pm 0	6,2 \pm 0,6	35,6 \pm 20,7	20,4 \pm 0	7,5 \pm 5	4,5 \pm 3	46,2 \pm 19,6	31,1 \pm 2,3
M3								
Entrenamiento	4,5 \pm 0,3	11 \pm 1,4	33,7 \pm 22,2	10,1 \pm 6,7	11,2 \pm 0,5	8,1 \pm 3	49,5 \pm 21,7	29,3 \pm 3,7
Recuperación	8 \pm 10,6 †	5,2 \pm 0,8	58 \pm 0	29,1 \pm 0	12,1 \pm 3,4	8,4 \pm 2,8 †	78,1 \pm 12,2 †	42,7 \pm 2 †
M4								
Entrenamiento	3,7 \pm 0,7	8,6 \pm 2,5	45 \pm 0 †	13,5 \pm 0	9,3 \pm 0,75	6,7 \pm 1,3	58,1 \pm 0,8 †	28,9 \pm 3
Recuperación	3,1 \pm 0	10,1 \pm 0 †	36 \pm 0 †	15,3 \pm 0 †	1,7 \pm 3,5 †	1 \pm 2,1 †	40,8 \pm 3,5 †	26,4 \pm 2,1 †
M5								
Entrenamiento	4,2 \pm 0,2	11,8 \pm 1	38,5 \pm 0 †	15,4 \pm 0,1	12 \pm 0	7,2 \pm 0	54,7 \pm 0,2	34,4 \pm 1
Recuperación	3 \pm 0	5,5 \pm 0	56,2 \pm 7,5 †	16,8 \pm 2,2	10,7 \pm 0,5 †	7,5 \pm 0,3 †	70 \pm 8 †	29,8 \pm 2,4

M1 – M5: Indica cada uno de los microciclos estudiados. † indica diferencias significativas con el microciclo anterior ($p < 0,05$).

de referencia, coincidiendo con el descenso de la carga (Tabla 5). Tras la sesión de recuperación, la CK se mantuvo en valores significativamente elevados en los microciclos 2 y 3.

En la Tabla 6 se muestra los valores correspondientes a la concentración de U en plasma. De la misma manera que para la CK, la concentración de urea en plasma experimenta un incremento significativo respecto al valor de referencia en los microciclos 1, 2, 3 y 5. En los periodos de recuperación, este parámetro se mantuvo elevado en los microciclos 1, 2 y 3, volviendo a valores cercanos a los de referencia durante los microciclos 4 y 5.

La T, C, así como el índice T/C se presentan en la Tabla 7. En ninguno de los microciclos, el relación T/C descendió más del 30% respecto a la analítica de referencia, valor considerado límite para el desarrollo del síndrome de sobreentrenamiento¹⁶⁻¹⁷.

En la Tabla 8 se muestra la relación entre las variables bioquímicas y el volumen y la carga de entrenamiento. Aunque se pueden observar correlaciones altas, apenas existen relaciones significativas entre las variables. Finalmente,

la Tabla 9 muestra los registros de sueño y la percepción de la carga durante los microciclos estudiados.

Microciclo	Entrenamiento	Recuperación
Referencia	205,2 ± 59,7	205,2 ± 59,7
M1	439,5 ± 193,6*	293,5 ± 120,3
M2	456,8 ± 156,8*	441 ± 224,8*
M3	550,8 ± 347,3*	433 ± 238,3*
M4	212,3 ± 110,6†	202,5 ± 105,4
M5	405 ± 244,7*	310 ± 224,8

M1 – M5: Indica cada uno de los microciclos estudiados. *Indica diferencias significativas con el valor de referencia. † Indica diferencias significativas con el microciclo anterior ($p < 0,05$)

TABLA 5.
Media ± desviación estándar para la creatin kinasa U/l en la analítica de referencia y a lo largo de los cinco microciclos de entrenamiento

Microciclo	Entrenamiento	Recuperación
Referencia	35,5 ± 2,6	35,5 ± 2,6
M1	42,4 ± 9,1*	46,9 ± 4,3*
M2	42,4 ± 10,0*	48,3 ± 8,9*
M3	45,7 ± 7,5*	44,6 ± 11,4*
M4	39,8 ± 4,8	38 ± 2,5
M5	44,6 ± 3,7*	39,5 ± 3,7

M1 – M5: Indica cada uno de los microciclos estudiados. * indica diferencias significativas con el valor de referencia ($p < 0,05$)

TABLA 6.
Media ± desviación estándar para la concentración de urea en plasma (mg/dl) en la analítica de referencia y a lo largo de los cinco microciclos de entrenamiento

Microciclo	Cortisol	Testosterona	T/C	Cambio
Referencia	20,9 ± 3,2	3,3 ± 2,9	0,15 ± 0,13	0 %
M1				
Entrenamiento	13,9 ± 2,4 *	4,0 ± 2,8	0,32 ± 0,22	+ 113 %
Recuperación	21,6 ± 3,0	3,0 ± 2,0	0,14 ± 0,09	- 7 %
M2				
Entrenamiento	21,2 ± 2,2 †	3,9 ± 2,6	0,18 ± 0,13	+ 20 %
Recuperación	18,1 ± 2,5	4,5 ± 1,0	0,25 ± 0,05 †	+ 67 %
M3				
Entrenamiento	17,2 ± 0,9 †	4,5 ± 2,6	0,26 ± 0,15	+ 73 %
Recuperación	19,2 ± 2,2	4,5 ± 3,0	0,24 ± 0,16	+ 60 %
M4				
Entrenamiento	20 ± 3,0	4,1 ± 3,6	0,22 ± 0,19	+ 46 %
Recuperación	20,4 ± 4,6	2,6 ± 3,3	0,15 ± 0,20	0 %
M5				
Entrenamiento	19,3 ± 1,4	4,3 ± 2,8	0,23 ± 0,15	+ 53 %
Recuperación	19,6 ± 1,0	3,8 ± 3,1	0,19 ± 0,16	+ 27 %

M1 – M5: Indica cada uno de los microciclos estudiados. * indica diferencias significativas con el valor de referencia. † indica diferencias significativas con la semana anterior. ($p < 0,05$)

TABLA 7.
Media ± desviación estándar para el cortisol ($\mu\text{g/dl}$), testosterona ($\mu\text{g/dl}$), relación de testosterona/cortisol libre (s.u.) en la analítica de referencia y a lo largo de los cinco microciclos de entrenamiento. En porcentaje se muestra el cambio de la variable respecto a la analítica de referencia

DISCUSIÓN

Este trabajo ha demostrado que el entrenamiento intenso durante un mesociclo de carga desencadena modificaciones en determinados parámetros de la analítica, que en algunos casos son superiores a los valores considerados como normales³⁴. Además, se ha observado que la variación de estos parámetros durante los periodos de carga a lo largo del mesociclo estudiado, regresan durante los periodos de recuperación a valores cercanos a los basales en la mayoría de los casos. Aunque, la vuelta de parámetros podría deberse a las diferencias de volumen y carga entre cada microciclo, el significado fisiológico es muy relevante, pues implica que una buena planificación de los periodos de trabajo y recuperación, permiten al organismo adaptarse desde el punto de vista biológico. Los parámetros más importantes estudiados y analizados en este trabajo han sido: la CK, la concentración de urea en plasma y la relación testosterona/cortisol. A continuación discutiremos la evolución de cada uno por separado

TABLA 8.
Tabla de correlaciones para cada variable estudiada en la analítica correspondiente al entrenamiento (E) y la recuperación (R) con el volumen total y la carga total. Nivel de significación* = $p < 0,05$

	Volumen		Carga	
	Total	Total	Total	Total
CK	E 0,288	R 0,451*	E 0,522*	R 0,390
Urea	E 0,399	R 0,388	E -0,265	R -0,223
Cortisol	E -0,037	R -0,178	E 0,044	R 0,019
Testosterona	E -0,415	R -0,251	E 0,000	R 0,103
T/C	E 0,399	R 0,388	E 0,013	R 0,114

Creatin kinasa

Los niveles de CK durante los 5 microciclos de carga fueron superiores (> 250 en los varones) a los valores considerados elevados en diversos estudios^{23,35-36}. La CK es una variable comúnmente utilizada en el control del entrenamiento, ya que algunos trabajos muestran una relación entre la CK y parámetros del entrenamiento como el volumen e intensidad³⁷⁻³⁸.

En nuestro estudio se observa una recuperación hasta los valores basales tras una sesión de entrenamiento de recuperación en los microciclos 1, 4 y 5. Sin embargo, en los microciclos 2 y 3 los valores de CK permanecen elevados respecto a los de reposo tras la sesión de recuperación. Esto puede hacer pensar que triatletas participantes en el estudio pudieron experimentar un proceso de sobreentrenamiento en los microciclos 2 y 3, ahora bien, los registros de sueño o percepción de carga no se vieron alterados durante estas semanas (Tabla 10), lo que nos lleva a descartar la hipótesis del sobreentrenamiento. Así, cabe pensar entonces que los niveles de CK altos de estos atletas podrían estar relacionados con una adaptación crónica al entrenamiento³⁹.

Por otro lado, varios trabajos han mostrado que la concentración de CK permanece elevada trascurridas 72 horas desde la sesión de entrenamiento^{37,39,40}, de modo que una única analítica tras la sesión de recuperación puede ser insuficiente para controlar el estado de sobreentrenamiento de los atletas si se utiliza la concentración de CK como marcador.

TABLA 9.
Media \pm desviación estándar para la percepción de la carga y la calidad del sueño la semana de referencia y a lo largo de los cinco microciclos de entrenamiento

Microciclo	Entrenamiento		Recuperación	
	Carga	Sueño	Carga	Sueño
Referencia	1,3 \pm 0,5	2,1 \pm 0,2	1,0 \pm 0,0	1,5 \pm 0,1
M1	3,2 \pm 1,0	1,8 \pm 1,2	1,5 \pm 1,2	2,3 \pm 0,9
M2	4,1 \pm 1,5	2,0 \pm 0,9	2,0 \pm 1,8	1,7 \pm 1,3
M3	5,7 \pm 0,9	1,6 \pm 0,8	1,7 \pm 2,1	2,0 \pm 1,1
M4	6,0 \pm 1,6	2,0 \pm 0,5	2,3 \pm 2,1	1,8 \pm 0,8
M5	5,4 \pm 2,1	2,1 \pm 1,1	2,1 \pm 1,2	1,9 \pm 0,3

M1 - M5: Indica cada uno de los microciclos estudiados. Los valores de la tabla son el resultado de sustituir por un valor las respuestas posibles de la tabla 3. Siendo 1 = apreciable o muy profundo 10 = extrema o noche en vela.

Urea

En el caso de la U, ésta se eleva tras la carga en 4 de los 5 microciclos estudiados. Además, permanece en valores significativamente elevados en los microciclos 1, 2 y 3. A pesar de estos resultados, es necesario hacer notar que en ningún caso se superó la concentración considerada como sugerente de estado de sobreentrenamiento en varones, correspondiente a 49,8 mg/dl²³. Además, como señalan Hartmann y Mester²³ un aspecto relevante para determinar el estado de sobreentrenamiento mediante la determinación de la concentración de urea consiste en que el valor elevado se mantenga durante 2-3 días, lo que de nuevo haría insuficiente una única analítica tras el periodo de recuperación con el objetivo de monitorizar el proceso de adaptación de los atletas.

Por otro lado, los valores de urea se elevaron respecto a los valores de referencia en un rango de +7% - +36%. Este rango de aumento es coherente con los resultados presentados en otro trabajo realizado con remeros²³, en el que se observó un incremento de la concentración de urea del 20,8 %, en aquellos remeros con mayor nivel y que se relacionaba con el volumen de entrenamiento. En un estudio similar realizado con corredores y durante 19 semanas, se observó un cambio significativo de la concentración de urea, cuando se compararon las situaciones de ejercicio y recuperación³⁵.

Índice testosterona/cortisol

Pensamos que las diferencias encontradas en la concentración de cortisol con los resultados de otros autores no son relevantes a la hora del control del entrenamiento. Lehman y cols. encontraron diferencias en la concentración de cortisol en dos tipos de entrenamiento, de volumen y de intensidad, cuyo objetivo fue comprobar si el tipo de entrenamiento afectaba a la respuesta neuroendocrina. Los valores de cortisol en el estudio de Lehmann y cols. estuvieron en el rango de 12,17 a 15,67 para el entrenamiento de volumen y de 7,79 a 13,19 para el entrenamiento de intensidad, mientras en nuestro trabajo los

valores medios correspondientes a la carga fueron superiores^{2,9-21,35}. Las diferencias de volumen de entrenamiento difieren de las llevadas a cabo en nuestro estudio, dado que en el estudio de Lehmann, *et al*⁵ se trataba de atletas, mientras en el nuestro eran triatletas. Por otra parte, los valores de cortisol durante la fase de recuperación no mostraron descendían respecto a los de la fase de entrenamiento. Resultados similares encontraron Houmard y cols. que durante la fase de entrenamiento alcanzaron valores medios de 23, 61 que se mantenían a lo largo de 3 semanas de entrenamiento reducido en el rango de 21,75 a 23,99⁴⁶. Así mismo, Steinacker y cols. no encontraron diferencias significativas en los niveles de cortisol entre entrenamiento y desentrenamiento³⁶.

Los valores de testosterona a lo largo del periodo de estudio correspondientes a la fase de entrenamiento estuvieron comprendidos en el rango de 3,9 a 4,3 ($\mu\text{g/dl}$). Lehmann, *et al.* encontraron los siguientes valores en la concentración final de testosterona entre el entrenamiento de volumen (83 pg/L) y el entrenamiento de intensidad (93 pg/L)³⁵. Aunque expresados en diferentes unidades $\mu\text{g/dl}$ en nuestro estudio en y pg/L en el estudio de Lehmann, *et al.*³⁵, la concentración de testosterona pre-entrenamiento y post-entrenamiento experimentaba una tendencia a aumentar independientemente del tipo de entrenamiento. Igualmente, en nuestro estudio, la tendencia es a incrementar el porcentaje de testosterona respecto a los valores de referencia durante los entrenamientos de recuperación, si bien con una gran variabilidad, 0% en el microciclo 4 a 67% en el microciclo 2. Reduciendo el entrenamiento durante 3 microciclos de una semana, Houmard, *et al.* encontraron que la concentración de testosterona aumentaba ($5,57 \pm 0,35 \mu\text{g/dl}$) de forma no significativa respecto de los valores encontrados ($5,10 \pm 0,21 \mu\text{g/dl}$) durante la fase de entrenamiento intenso⁴⁶. A diferencia del estudio de Houmard, en nuestro estudio la carga de entrenamiento no experimentaba una reducción notable durante los 5 microciclos, a pesar de lo cual se parecía la tendencia hacia una mayor concentración de testosterona en relación a los valores de referencia, lo que puede sugerir un

estímulo adecuado del eje hipotálamo-hipófisis-testículo.

El aspecto más relevante de nuestro estudio ha sido que a pesar del elevado volumen (superior a los 40km en todos los casos) durante los días previos a las analíticas, la relación T/C quedó por debajo de los valores que pueden sugerir un estado de sobreentrenamiento. Varios estudios⁴¹⁻⁴⁴, consideran que un descenso de la relación T/C superior al 30% puede ser indicativo de estado de sobreentrenamiento. Sin embargo, este valor límite está sujeto a controversia, por diversas razones. En primer lugar, porque en estudios llevados “al límite” en personal militar, los resultados son variables. En segundo lugar, es cuestionable desde el punto de vista de ética deportiva y por tanto de realidad experimental, tener la certeza de que los atletas se encuentran en estado de sobreentrenamiento. Both y cols. encontraron que un 56% de los militares presentaron un descenso de la relación T/C superior al 30%⁴², mientras que Chicharro y cols. únicamente encontraron un 24 %⁴³. Sin embargo, tanto en nuestro estudio como en otros trabajos^{35,36,46}, el índice T/C no alcanzó valores que sugieran sobreentrenamiento. Parece razonable, como sugieren Banfi y Dolci⁴¹, establecer una clasificación del índice T/C, a la hora de identificar categorías de riesgo de sobreentrenamiento entre 0,35 y 0,8 y establecer relación con otros parámetros de diagnóstico de sobreentrenamiento.

Por otra parte, comparando los valores de carga con los valores de referencia, no se encontraron diferencias significativas. De igual forma lo que sugiere que la relación T/C es un parámetro estable que permite un control del entrenamiento de forma sencilla y realizando una única analítica tras la sesión de recuperación, ya que parece no estar sujeto a las limitaciones temporales de los casos anteriores¹⁸.

El presente trabajo no está libre de limitaciones y es necesaria una investigación más profunda en este ámbito. Por un lado, algunas de las variables medidas presentan una respuesta elevada tras 72 horas de la sesión de entrenamiento. Por otro lado, la muestra estudiada es reducida. Sin embargo, este estudio ha sido realizado con triatletas de élite bajo condiciones de entrenamiento no modificadas por el investigador, lo que permite al estudio constituirse como marco de referencia sobre el que realizar futuras valoraciones.

En resumen, este estudio piloto muestra que el entrenamiento intenso durante un mesociclo de 5 semanas no parece inducir ni desencadenar un posible estado de sobreentrenamiento en triatletas de élite mediante su seguimiento por parámetros bioquímicos de referencia de control del mismo.

B I B L I O G R A F Í A

1. Rowlands DS, Downey B. Physiology of Triathlon. In: Garret WEJ, Kirkendall DT, editors. Exercise and Sport Science. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2000;919-39.
2. Díaz V, Peinado AB, Álvarez M, Zapico AG, Benito PJ, Calderón FJ. La respuesta cardiorrespiratoria durante la segunda transición del triatlón: Revisión. RICYDE: Revista Internacional de Ciencias del Deporte 2009;14(5):45.
3. Hausswirth C, Lehenaff D. Physiological demands of running during long distance runs and triathlons. *Sports Med* 2001;31(9):679-89.
4. Millet GP, Vleck VE. Physiological and biomechanical adaptations to the cycle to run transition in Olympic triathlon: review and practical recommendations for training. *Br J Sports Med* 2000;34(5):384-90.
5. O'Toole ML, Douglas PS. Applied physiology of triathlon. *Sports Med* 1995;19(4):251-67.
6. Díaz V, Peinado AB, Zapico AG, Álvarez M, Benito PJ, Calderon FJ. Efecto del ciclismo sobre el rendimiento de la carrera en triatletas jóvenes. *Apunts, Educación Física y Deportiva* 2009; 95(1):57-63.

7. Díaz V, Zapico AG, Peinado AB, Álvarez M, Benito PJ, Calderón FJ. Physiological profile of elite triathletes: a comparison between young and professional competitors. *J Hum Sport Exerc* 2009;4(3):237-45.
8. Barbero J, Méndez-Villanueva A, Bishop D. La capacidad de repetir esfuerzos máximos intermitentes: aspectos fisiológicos (I). *Archivos de Medicina del Deporte* 2006;114:299-304.
9. Barbero J, Méndez-Villanueva A, Bishop D. La capacidad de repetir esfuerzos intermitentes: Aspectos fisiológicos (II). *Archivos de Medicina del Deporte* 2006;115:379-90.
10. Calderón FJ, Benito PJ, Melendez A, González-Gross M. Control Biológico del entrenamiento de resistencia. RICYDE: *Revista Internacional de Ciencias del Deporte* 2005;2(2):65-78.
11. Hellemans J. Triathlon: a complete guide for training and racing. Auckland: Reed; 1993.
12. Noakes TD. Lore of running. Oxford: Oxford University Press; 1985.
13. Sleamaker R, Browning R. Serious training for endurance athletes. 2nd ed. Champaign, IL.: Human Kinetics; 1996.
14. Benito PJ, Calderón FJ, Zapico AG, Melendez A, Legido Arce JC. Adaptación biológica al entrenamiento de resistencia. *Archivos de medicina del Deporte* 2004;21(4):317-24.
15. O'Toole ML. Overreaching and overtraining in endurance athletes. In: Kreider RB, Fry AC, O'Toole ML, editors. Overtraining in sport. Champaign, IL: Human Kinetics; 1997.
16. Kreider RB, Fry AC, O'Toole ML. Overtraining in sport. Champaign (IL): Human Kinetics; 1998.
17. Sharp NC, Koutedakis Y. Sport and the overtraining syndrome: immunological aspects. *Br Med Bull* 1992;48(3):518-33.
18. Viru A. Biochemical monitoring of sport training Champaign (IL): Human Kinetics; 2001.
19. Gastmann UA, Lehmann MJ. Overtraining and the BCAA hypothesis. *Med Sci Sports Exerc*. 1998;30(7):1173-8.
20. Parry-Billings M, Budgett R, Koutedakis Y, Blomstrand E, Brooks S, Williams C, y cols. Plasma amino acid concentrations in the overtraining syndrome: possible effects on the immune system. *Med Sci Sports Exerc* 1992;24(12):1353-8.
21. Petibois C, Cazorla G, Deleris G. The biological and metabolic adaptations to 12 months training in elite rowers. *Int J Sports Med* 2003;24(1):36-42.
22. Seene T, Kaasik P, Alev K, Pehme A, Riso EM. Composition and turnover of contractile proteins in volume-overtrained skeletal muscle. *Int J Sports Med* 2004;25(6):438-45.
23. Hartmann U, Mester J. Training and overtraining markers in selected sport events. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32(1):209-15.
24. Fukuba Y, Walsh ML, Cameron BJ, Morton RH, Kenny CT, Banister EW. The clearance rate of exercise-elevated blood lactate following physical training. *Ann Physiol Anthropol* 1992;11(3):369-76.
25. Guezennec CY, Abdelmalki A, Serrurier B, Merino D, Bigard X, Berthelot M, et al. Effects of prolonged exercise on brain ammonia and amino acids. *Int J Sports Med* 1998;19(5):323-7.
26. Yuan Y, So R, Wong S, Chan KM. Ammonia threshold--comparison to lactate threshold, correlation to other physiological parameters and response to training. *Scand J Med Sci Sports* 2002;12(6):358-64.
27. Zapico AG, Calderon FJ, Benito PJ, Gonzalez CB, Parisi A, Pigozzi F, et al. Evolution of physiological and haematological parameters with training load in elite male road cyclists: a longitudinal study. *J Sports Med Phys Fitness* 2007;47(2):191-6.
28. González-Haro C, San Millán I, González-de-Suso JM, Galilea P. Trimp Methodological Issues. A New Accurate Methodology. *Med Sci Sports Exerc* 2009;41(5 Suppl 1):s151.
29. Stagno KM, Thatcher R, van Someren KA. A modified TRIMP to quantify the in-season training load of team sport players. *J Sports Sci* 2007; 25(6):629-34.
30. Hooper SL, Mackinnon LT, Howard A, Gordon RD, Bachmann AW. Markers for monitoring overtraining and recovery. *Med Sci Sports Exerc* 1995;27(1):106-12.
31. Vleck VE, Garbutt G. Le surentraînement en triathlon (Overtraining in Triathlon). In: Lehenaff D, Helal H, editors. Un Sport, deux enchaînements, trois disciplines: le triathlon. Paris: Les cahiers de l'INSEP: L'Institut National du Sport et de l'éducation physique; 1997.
32. Vleck VE, Garbutt G. Development of Triathlon Specific Normative Data for the Profile of Mood State. *J Sports Sci* 1998;16(5):399.
33. Bentley DJ, Millet GP, Vleck VE, McNaughton LR. Specific aspects of contemporary triathlon: implications for physiological analysis and performance. *Sports Med* 2002;32(6):345-59.
34. Billat LV. Use of blood lactate measurements for prediction of exercise performance and for

- control of training. Recommendations for long-distance running. *Sports Med* 1996;22(3):157-75.
35. **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(5):444-52.
36. **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 Suppl 1:S24-8.
37. **Ribeiro V, Pereira R, Machado M.** Resistance-exercise induced microinjuries do not depend on 1 or 3 minutes rest time interval between series. *RICYDE: Revista Internacional de Ciencias del Deporte* 2008;13:44-53.
38. **Tiidus PM, Ianuzzo CD.** Effects of intensity and duration of muscular exercise on delayed soreness and serum enzyme activities. *Med Sci Sports Exerc* 1983;15(6):461-5.
39. **Brancaccio P, Maffulli N, Limongelli FM.** Creatine kinase monitoring in sport medicine. *Br Med Bull* 2007;81-82:209-30.
40. **Mougios V.** Reference intervals for serum creatine kinase in athletes. *Br J Sports Med* 2007;41(10):674-8.
41. **Banfi G, Dolci A.** Free testosterone/ cortisol relación in soccer: usefulness of a categorization of values. *Epidemiology and clinical medicine*. 2006;46(4):611-7.
42. **Booth CK, Probert B, Forbes-Ewan C, Coad RA.** Australian Army Recruits in Training Display Symptoms of Overtraining. *Military Med* 2006; 171(11):1058-64.
43. **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(6):562-8.
44. **Handziski Z, Maleska V, Petrovska S, Nikolik S, Mickoska E, Dalip M, et al.** The changes of ACTH, cortisol, testosterone and testosterone/ cortisol relación in professional soccer players during a competition half-season. *Bratisl Lek Listy* 2006;107(6-7):259-63.
45. **Gaskill SE, Ruby BC, Walker AJ, Sanchez OA, Serfass RC, Leon AS.** Validity and reliability of combining three methods to determine ventilatory threshold. *Med Sci Sports Exerc* 2001;33(11):1841-8.
46. **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;11:41-45.

