

Ramos-Campo, D.J.; Martínez, F.; Esteban, P.; Rubio-Arias, J.A. y Jiménez, J.F. (2016). Entrenamiento en hipoxia intermitente y rendimiento ciclista en triatletas / Intermittent Hypoxic Training and Cycling Performance in Triathletes. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte vol. 16 (61) pp. 139-156.  
[Http://cdeporte.rediris.es/revista/revista61/artefectos677.htm](http://cdeporte.rediris.es/revista/revista61/artefectos677.htm)  
DOI:<http://dx.doi.org/10.15366/rimcafd2016.61.011>

## ORIGINAL

### ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA INTERMITENTE Y RENDIMIENTO CICLISTA EN TRIATLETAS

### INTERMITTENT HYPOXIC TRAINING AND CYCLING PERFORMANCE IN TRIATHLETES

Ramos-Campo, D.J.<sup>1</sup>; Martínez, F.<sup>2</sup>; Esteban, P.<sup>3</sup>; Rubio-Arias, J.A.<sup>4</sup> y Jiménez, J.F.<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Profesor Doctor. Facultad de Ciencias del Deporte. Grado en Ciencias del Deporte. Universidad Católica San Antonio de Murcia. (domingojesusramos@gmail.com)

<sup>2</sup> Becario de Investigación. Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo. Universidad de Castilla la Mancha (fermasa83@gmail.com)

<sup>3</sup> Profesor Asociado. Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo. Universidad de Castilla la Mancha (becario.pesteban@uclm.es)

<sup>4</sup> Profesor Contratado Doctor. Facultad de Ciencias del Deporte. Grado en Ciencias del Deporte. Universidad Católica San Antonio de Murcia. (jararias@ucam.edu)

<sup>5</sup> Profesor Contratado Doctor. Facultad de Ciencias del Deporte de Toledo. Universidad de Castilla la Mancha (josefernando.jimenez@uclm.es)

**Código UNESCO / UNESCO code:** 5899 Otras Especialidades Pedagógicas: Educación Físico-Deportiva / Other Educational Specialties: Sport and Physical Education.

**Clasificación del Consejo de Europa / Council of Europe classification:** 17: otras (entrenamiento deportivo) / other (sport training)

**Recibido** 18 de diciembre 2012 **Received** December 18, 2012

**Aceptado** 27 de enero de 2014 **Accepted** January 27, 2014

## RESUMEN

Los deportistas incorporan como complemento a su entrenamiento convencional, programas de entrenamiento en altitud para incrementar el rendimiento. El objetivo del estudio fue analizar los efectos sobre el umbral anaeróbico (Uan) producidos por un programa de entrenamiento en hipoxia intermitente (IHT) en triatletas.

Participaron 18 triatletas divididos en un grupo de entrenamiento en hipoxia (GIHT: n=9; Edad:  $26 \pm 6.73$  años; Talla  $173.33 \pm 5.94$  cm; Peso:  $66.38 \pm 5.91$  kg) y un grupo control (GC: n=9; Edad:  $29.27 \pm 6.84$  años; Talla  $174.89 \pm 4.59$  cm; Peso:  $71.59 \pm 6.81$  Kg). Se aplicó un programa de IHT, complementario al entrenamiento habitual de 7 semanas al 15-14.5% de  $FiO_2$ , 2 sesiones semanales de 60 minutos en cicloergómetro a la intensidad del Uan. Se llevó a cabo un test de umbrales lácticos previo y otro posterior al programa. El tratamiento propuesto produce un incremento en la potencia y el esfuerzo percibido en el Uan y disminuye la frecuencia cardiaca en el umbral aeróbico (Uae) y el Uan.

**PALABRAS CLAVE:** Entrenamiento en Hipoxia Intermitente, altitud simulada, Umbral anaeróbico, Triatlón

## ABSTRACT

Athletes include altitude training as a complement to their conventional training to improve performance. The aim of the study was to analyze the effects on anaerobic threshold (AT) produced by an IHT program in triathletes.

18 male trained triathletes were divided into intermittent hypoxic training group (GIHT: n=9; age:  $26 \pm 6.73$  years, height  $173.33 \pm 5.94$  cm, weight:  $66.38 \pm 5.91$  kg) and control group (GC: n=9; age:  $29.27 \pm 6.84$  years, height  $174.89 \pm 4.59$  cm, weight:  $71.59 \pm 6.81$  kg). The IHT program consisted of two 60-min sessions per week at intensities over the AT and atmospheric conditions between 14.5 and 15%  $FiO_2$ . Before and after the program, cycling performance in a lactate thresholds test was determined. The treatment caused an improvement in the power output and perceived exertion in AT and enhanced cardiac performance in the aerobic threshold and AT.

**KEYWORDS:** Intermittent Hypoxia Training, Simulated Altitude, Anaerobic Threshold, Triathlon.

## INTRODUCCIÓN

La exposición deliberada de deportistas a condiciones de hipoxia con el objetivo de incrementar su rendimiento a nivel del mar, es un fenómeno relativamente reciente. Por un lado encontramos los modelos tradicionales vivir y entrenar arriba (LHTH), vivir abajo-entrenar arriba (LLTH) y vivir arriba-entrenar abajo (LHTL).

Por otro lado, existe un interés por la investigación y utilización de métodos de hipoxia intermitente como la exposición a hipoxia intermitente (IHE) la cual se aplica mediante la estancia pasiva en habitaciones con ambiente hipóxico o a través de la respiración de aire con menos concentración de  $O_2$ . Además, podemos encontrar el método utilizado en este estudio, denominado

entrenamiento en hipoxia intermitente (IHT), que consiste en entrenamiento continuo o interválico en condiciones de hipoxia normobárica o hipobárica (Millet, Roels, Schmitt, Woorons & Richalet, 2010). A pesar de las diferencias sustanciales entre los diferentes métodos de hipoxia, todos tienen el mismo objetivo, inducir adaptaciones en el organismo del deportista que incrementen su rendimiento físico a nivel del mar (Millet, Faiss, Pialoux, Mounier & Brugniaux, 2012; Balsalobre-Fernández, Tejero-González, del Campo-Vecino & Alonso-Curiel, 2013).

Teóricamente, el estrés al que se somete al organismo con un programa de entrenamiento, junto con el estímulo hipóxico, producen adaptaciones que aumentan el rendimiento del deportista. Esta mejora se debe a diferentes cambios bioquímicos y estructurales del sistema músculo-esquelético que mejoran el proceso oxidativo (Zoll et al., 2006; Geiser, Vogt & Billeter, 2001). La teoría más común sobre el mecanismo para incrementar el rendimiento a consecuencia de un programa de hipoxia, se relaciona con el aumento de la capacidad de transportar oxígeno en sangre. Esto se produce por un cambio en los parámetros hematológicos, fundamentalmente por el incremento de la secreción de la hormona eritropoyetina (EPO), la hemoglobina (Hb) y los eritrocitos (Stray-Gundersen, Chapman & Levine, 2001; Levine & Stray-Gundersen, 1997; Levine & Stray-Gundersen, 2005; Meeuwsen, Hendriksen & Holewijn, 2001; Hamlin, Marshall, Hellems & Ainslie, 2010). Además, algunos estudios han observado una mejora del rendimiento anaeróbico (Hamlin et al., 2010; Bonetti, Hopkins & Kilding, 2006; Hendriksen & Meeuwsen, 2003), justificada por un incremento de la capacidad tampón del músculo (Gore et al., 2001) y un aumento de la actividad enzimática (Puype, Van Proeyen, Raymarkers, Delcicque, & Hespel, 2013; Katayama et al., 2004).

Los programas de IHT muestran ser un método eficaz para incrementar el rendimiento aeróbico a nivel del mar (Zoll et al., 2006; Hamlin et al., 2010; Meeuwsen et al., 2001; Czuba et al., 2011; Terrados, Melichna, Sylven & Jansson, 1998), si bien otros estudios tan solo muestran un mantenimiento del rendimiento de los deportistas sometidos a estudio (Morton & Cable, 2005; Truijens, Toussaint, Dow & Levine, 2003; Roels, Bentley, Coste, Mercier & Millet, 2007). Con respecto a los estudios que utilizan el entrenamiento IHT en triatletas, encontramos el trabajo de Vallier, Chateaou y Guezennec (1996), que observaron un incremento del 34% del rendimiento físico en hipoxia, sin modificación del  $VO_2$ max ni las variables eritropoyéticas, tras la aplicación de un programa de 3 semanas de duración a 4000 m de altitud simulada. Además, encontramos el estudio de Meeuwsen y Holewijn (2001), en el que los autores observan un incremento del hematocrito y la hemoglobina, junto con un aumento del  $VO_2$ max y de la potencia media en un test de Wingate, tras 10 sesiones de 2 horas de duración a 2500 m de altitud simulada. Dos años más tarde, Hendriksen y Meeuwsen (2003), aplicando el mismo protocolo observaron un mantenimiento en el  $VO_2$ max con un aumento de la potencia generada en una prueba de 20 Km en cicloergómetro y un aumento de la potencia media y potencia pico en un test de Wingate. Estos resultados también los obtienen Roels et al. (2005), que aplican un protocolo en triatletas de 14 sesiones a una fracción inspirada de

oxígeno ( $FiO_2$ ) del 10-14%, observando un incremento de la potencia media generada durante un test de 10 m en cicloergómetro, un incremento del  $VO_{2max}$  y un mantenimiento de la economía de pedaleo.

El conflicto sobre la eficacia de los programas de IHT se debe al protocolo de entrenamiento empleado, tipo de hipoxia (normobárica o hipobárica), la duración del programa y de la sesión, la frecuencia semanal, la altitud simulada o el método de control del efecto del estímulo sobre el organismo o carga interna. En función de estos parámetros se pueden obtener distintos resultados (Millet, Woorons & Roels, 2009). Por último, también existen diferencias en los resultados en función del nivel de experiencia y deportivo de la muestra de estudio. De este modo los entrenamientos realizados sobre sujetos con poca experiencia o con un nivel bajo han conseguido mejoras superiores a las obtenidas en deportistas de alto rendimiento (Macdougall et al., 1998).

A pesar de estas divergencias, los resultados de estos estudios sugieren que la utilización de hipoxia de corta duración con entrenamiento a intensidad cercana al umbral anaeróbico, puede inducir una mejora en la capacidad de transportar oxígeno en la sangre. Este incremento, deriva en la producción de adaptaciones fisiológicas en el organismo del deportista que surgen como respuesta a la aplicación de programas de hipoxia intermitente.

Por ello, el objetivo general de esta investigación fue determinar los cambios producidos en el rendimiento aeróbico en el segmento de ciclismo después de llevar a cabo un programa de IHT de 7 semanas de duración con un protocolo de 2 sesiones a la semana, 60 minutos por sesión al 15-14.5 %  $FiO_2$ , en triatletas de competición.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Muestra:** La muestra de estudio, obtenida a través de un muestreo no probabilístico de conveniencia, estuvo formada por 18 triatletas de categoría élite divididos de forma aleatoria en Grupo de Entrenamiento en Hipoxia Intermitente (GIHT) (n=9), que realizó un tratamiento de IHT complementario a su entrenamiento y un Grupo Control (GC)(n=9) que no realizó ningún tratamiento alternativo y realizó el entrenamiento en condiciones de normoxia. Antes de comenzar el estudio se obtuvo un consentimiento informado al amparo de las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial para la investigación con seres humanos. En la tabla 1 se pueden observar las características descriptivas de la muestra.

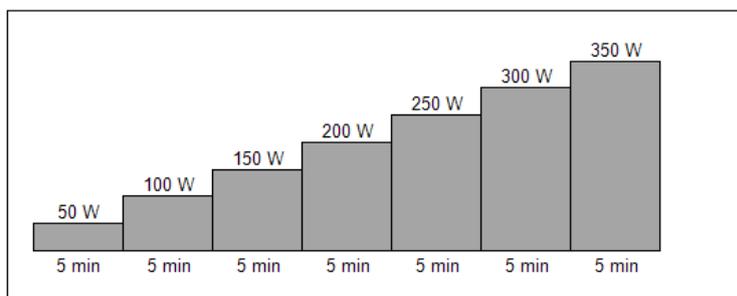
**Tabla 1.** Características descriptivas de la muestra del estudio por grupo

Grupo		Edad	Talla (cm)	Peso (Kg)	MME (Kg)	Grasa (%)	VO <sub>2</sub> max (ml/Kg/min)
GIHT	Media	26.00	173.33	66.38	55.33	13.25	59.53
	Desv Estándar	6.73	5.94	5.91	5.25	2.02	5.04
GC	Media	29.67	174.89	71.59	59.07	13.47	58.93
	Desv Estándar	6.84	4.59	6.81	4.14	2.68	4.53

MME=Masa Músculo-Esquelética; VO<sub>2</sub> max= Consumo Máximo de Oxígeno Relativo

**Diseño:** Este estudio tuvo un diseño cuasiexperimental pre-post con grupos aleatorios, en el cual se aplicó sobre el grupo experimental un programa de intervención de 7 semanas. Se realizó una evaluación previa y otra posterior al tratamiento. Fue aprobado por el Departamento de Actividad Física y Ciencias del Deporte de la Universidad de Castilla la Mancha y por el Comité de Ética de Investigación Clínica local.

**Protocolo:** En cada una de las evaluaciones se llevó a cabo un test de umbrales lácticos. Se utilizó un protocolo en rampa con incrementos de 50 vatios cada 5 min, aplicando una intensidad durante el calentamiento de 50 vatios (Figura 1). La cadencia durante todo el test oscilaba entre las 90 y 105 rpm.

**Figura 1.** Protocolo del test de umbrales en cicloergómetro.

Durante los últimos 15 s de cada estadio se registró la frecuencia cardiaca, la percepción de esfuerzo subjetivo percibido (RPE) y se tomó una muestra de sangre capilar del dedo índice de la mano derecha para analizar la concentración de lactato. El test se dio por finalizado cuando el deportista no lograba mantener la cadencia dentro del rango delimitado o bien cuando el sujeto no podía acabar el estadio de 5 min por la fatiga alcanzada, pidiendo de forma voluntaria la finalización del test (Carig et al., 2000). Para determinar el umbral anaeróbico se utilizó un protocolo de lactato constante a 4 mmol/l (Kindermann, Simon & Keul, 1979).

**Protocolo de hipoxia intermitente:** Un día después de la finalización de la primera evaluación comenzó el programa de IHT. El protocolo utilizado durante el programa tuvo una duración de 7 semanas, en las cuales el porcentaje de FiO<sub>2</sub> fue progresivamente disminuyendo y la duración de la sesión se mantuvo estable (60 min) (Millet et al., 2010). La frecuencia semanal del programa de hipoxia fue

de 2 días semanales (Martes y Jueves). La saturación de oxígeno monitorizada a través de un pulsioxímetro colocado en el dedo índice de la mano izquierda del deportista, se utilizó como factor de control de la carga interna del programa de hipoxia, ajustándose al ratio de 78-85%, disminuyendo este parámetro de forma progresiva a medida que avanzaba el programa de entrenamiento.

Durante la realización del programa de IHT, cuyas características se observan en la tabla 2, el GC realizaba las mismas sesiones de entrenamiento en condiciones de normoxia. La intensidad de la sesión de entrenamiento del programa de hipoxia se estableció de forma individual mediante un test submáximo (Campbell, 2001), determinando la frecuencia cardiaca y la potencia generada en cada una de las altitudes simuladas durante el estudio.

**Tabla 2.** Protocolo de entrenamiento en hipoxia intermitente utilizado durante el estudio

SEMANA	SESIÓN 1		SESIÓN 2	
0	EVALUACIÓN PRE			
1	DURACIÓN	60	60	15 % FiO <sub>2</sub>
	INTENSIDAD	60%	65%	
	MÉTODO	CONTINUO	CONTINUO	
2	DURACIÓN	60	60	
	INTENSIDAD	70%		
	MÉTODO	CONTINUO	INTERVÁLICO	
3	DURACIÓN	60	60	
	INTENSIDAD	70%		
	MÉTODO	CONTINUO	INTERVÁLICO	
4	DURACIÓN	60	60	
	INTENSIDAD	70%	60%	
	MÉTODO	CONTINUO	CONTINUO	
5	DURACIÓN	60	60	14,5% FiO <sub>2</sub>
	INTENSIDAD	60%	65%	
	MÉTODO	CONTINUO	CONTINUO	
6	DURACIÓN	60	60	
	INTENSIDAD		65%	
	MÉTODO	INTERVÁLICO	CONTINUO	
7	DURACIÓN	60	60	
	INTENSIDAD	65%	60%	
	MÉTODO	CONTINUO	CONTINUO	
8	EVALUACIÓN POST			
<b>INTENSIDAD DE LA SESIÓN:</b> % del umbral anaeróbico individual a esa altitud <b>MÉTODO:</b> <i>CONTINUO:</i> Sesión con método continuo extensivo; <i>INTERVÁLICO:</i> Las sesiones que utilizan el método interválico constan de 10' de calentamiento al 60%+ 8X(2,5' al 80% + 2,5' al 60%)+ 10' de vuelta a la calma al 50%				

Duración (min). % FIO<sub>2</sub>y método de entrenamiento utilizado, junto con la tarea realizada en cada sesión de entrenamiento

**VARIABLES DE ESTUDIO:** Las variables medidas a través del test de umbrales fueron la Potencia a 2.5, 4 y 8 mmol/l de lactato (W), la Frecuencia cardiaca a 2.5, 4 y 8 mmol/l de lactato (bpm), el esfuerzo percibido a 2.5, 4 y 8 mmol/l de lactato y la Potencia relativa al peso a 2.5, 4 y 8 mmol/l de lactato (W/kg).

**Instrumentos:** Para la realización del test de umbrales lácticos se utilizó un cicloergómetro Monark 839E (Monark Exercise, Vansbro. Suecia), el analizador de lactato Dr.Lange LP-20 (Bruno Lange, Alemania) para determinar la concentración de lactato y el pulsómetro Suunto T3C (Suunto Ov, Vantaa, Finlandia) para medir la frecuencia cardiaca. Para determinar el esfuerzo

percibido durante el test se utilizó la escala de Borg en la versión cuyos valores oscilan entre 6 y 20.

Durante el tratamiento de hipoxia intermitente se utilizó el cicloergómetro Monark 839E y el pulsómetro Suunto T3C, junto con un dispositivo Hipoxicador GO<sub>2</sub> altitude (Biomedtech Australia. Melbourne. Australia) asociado a un set de ejercicio compuesto por un saco de Douglas de 120 l de capacidad GO<sub>2</sub>altitude, junto con una mascarilla adaptable que posibilitaba la realización de actividad física.

**Programa de Entrenamiento:** El estudio se llevó a cabo durante el primer macrociclo de la temporada de los triatletas participantes en el estudio, que tuvo una duración de 32 semanas. El modelo de planificación utilizado fue el paralelo-complejo, que utiliza cargas de entrenamiento regulares (Matveiev, 1985). El programa de IHT se ubicó en los mesociclos de pre-competición I y competición I. El mesociclo de precompetición I estaba compuesto de 4 microciclos (Carga-Impacto-Carga-Recuperación) orientados como objetivo principal al desarrollo del umbral anaeróbico y que tenía como objetivos secundarios el desarrollo del umbral aeróbico, el ritmo de competición y la resistencia a la fuerza aeróbica. El mesociclo de competición, estuvo formado por otros 4 microciclos (Ajuste-Carga-Activación-Competición) con el objetivo principal del trabajo del ritmo de competición y que tenía como objetivos secundarios el mantenimiento del umbral anaeróbico y aeróbico del deportista, así como el trabajo de resistencia a la fuerza aeróbica.

La intensidad de las sesiones de entrenamiento en ciclismo en condiciones de normoxia se estableció en función de los resultados del test de umbrales lácticos. La intensidad se controló mediante frecuencia cardiaca y potencia. Del mismo modo, cada sujeto entrenó de forma individualizada el segmento de carrera o de natación, utilizando las zonas de entrenamiento delimitadas en función de un test inicial y establecidas en la literatura (Navarro, 1998). Después de cada sesión los sujetos rellenaban un diario en el que detallaban el entrenamiento realizado para comprobar si la carga realizada correspondía con la previamente programada.

La cuantificación de la carga de entrenamiento se llevó a cabo mediante TRIMPS (Training Impulse) (Banister, 1991). Este método tiene en cuenta la duración y la intensidad del ejercicio, expresándose cuantitativamente el nivel de carga realizada. Esta unidad ha sido utilizada para cuantificar la carga de entrenamiento en diferentes trabajos de investigación con deportes de resistencia de larga duración (Padilla, Mujika, Orbañanos & Angulo, 2000; Padilla et al., 2001; Ramos et al., 2011).

**Análisis estadístico:** El análisis de los datos se realizó usando el paquete estadístico para las ciencias Sociales (SPSS para Windows v.19.0, SPSS, Inc., Chicago, IL. USA). Inicialmente se realizó el análisis de los datos a través de los

descriptivos de media, desviación estándar, máximo, mínimo y rango de todas las variables estudiadas.

Posteriormente se realizaron las pruebas de Kolmogorov-Smirnov y Shapiro-Wilk para comprobar si se cumplía la hipótesis de normalidad y de homocedasticidad de varianzas.

Finalmente, en las variables paramétricas, se realizó una Anova de dos factores (grupo x momento) de medidas repetidas con post hoc de Bonferroni para determinar la efectividad del programa de hipoxia intragrupo e intergrupo. En las variables no paramétricas se utilizó la prueba U de Mann Whitney para determinar si existían diferencias significativas intergrupo para posteriormente realizar el test de Wilcoxon para analizar las diferencias intragrupo. El nivel de significación para todas las variables del estudio se estableció en  $p < 0.05$ .

## RESULTADOS

Al analizar los datos obtenidos del test de umbrales lácticos en cicloergómetro antes y después del programa de IHT, en función del grupo, podemos apreciar que existen diferencias estadísticamente significativas entre los dos momentos de evaluación en el GIHT en la frecuencia cardíaca a 2.5 mmol/l ( $F_{C_{2.5}}$ ;  $p=0.033$ ), en la potencia absoluta y relativa generada a 4 mmol/l ( $P_4$ ;  $p=0.012$ ;  $P_{relat_4}$ ;  $p=0.012$ ) y en el esfuerzo percibido a 4 mmol/l ( $RPE_4$ ;  $p=0.023$ ).

En el GC no existen diferencias significativas en ninguna de las variables entre los diferentes momentos del estudio (Tabla 3). Por otro lado, se observa un mantenimiento en el GIHT en los valores de frecuencia cardíaca a 4 mmol/l y a 8 mmol/l de lactato. La potencia a 2.5 mmol/l se mantiene mientras que a 8 mmol/l aumenta un 25.64 %, siendo este valor no significativo. Si relativizamos la potencia al peso, observamos que una tendencia al aumento de forma no significativa a 2.5, 4 y 8 mmol/l de lactato, oscilando este aumento entre un 9 y un 25%. Además, observamos como el esfuerzo percibido se mantiene a 2.5, 4 y a 8 mmol/l de lactato.

En el GC se produce un mantenimiento de la potencia y de la percepción de esfuerzo percibido en todas las concentraciones de lactato medidas. La frecuencia cardíaca se mantiene observando una tendencia al descenso a todas las intensidades entre un 1% y un 4%.

Para finalizar, si observamos los valores de potencia, se aprecia que al inicio del programa, el GC parte con valores absolutos superiores que el GIHT. En valores relativos, observamos que es el GIHT el que tiene valores superiores. Al finalizar el tratamiento, la potencia a 4 y 8 mmol/l aumenta en el GIHT y hace que sus valores sean superiores a los del GC. Lo mismo sucede en los resultados de potencia relativa, la cual aumenta en todas las concentraciones de

ácido láctico en el GIHT, produciendo que los valores del GIHT sean mayores que los del GC.

**Tabla 3.** Valores medios de potencia, frecuencia cardiaca y esfuerzo percibido en el test de umbrales

	P <sub>2.5</sub>	FC <sub>2.5</sub>	RPE <sub>2.5</sub>	P <sub>4</sub>	FC <sub>4</sub>	RPE <sub>4</sub>	P <sub>8</sub>	FC <sub>8</sub>	RPE <sub>8</sub>	Prelat <sub>2.5</sub>	Prelat <sub>4</sub>	Prelat <sub>8</sub>	
	(W)	(ppm)		(W)	(ppm)		(W)	(ppm)		(W/Kg)	(W/Kg)	(W/Kg)	
GIHT (n=9)	Pre	116.74	131.01	10.77	189.49	153.4	14.93	234.17	170.45	17.97	1.72	2.84	3.52
		±48.99	±12.03	±1.37	±29.87	±12.5	±0.78	±37.25	±14.46	± 1.03	± 0.75	± 0.36	± 0.54
	Post	114.14	115.27	10.61	205.67	148.66	15.89	294.22	174.66	18.35	1.89	3.12	4.43
		±41.64	±14.67	±2.37	±28.11	±12.7	±1.07	±48.64	±10.12	± 1.47	± 0.68	± 0.28	± 1.37
GC (n=9)	D	-2.23	-12.01	-1.49	8.54	-3.09	6.43	25.64	2.47	2.11	9.87	9.86	25.85
	(p)	(0.893)	(0.033*)	(0.802)	(0.012*)	(0.136)	(0.023*)	(0.172)	(0.71)	(0.648)	(0.347)	(0.012*)	(0.154)
	Pre	131.31	126.49	11.85	209.06	151.76	15.57	258.13	168.21	17.62	1.7	2.69	3.34
		±37.02	±14.07	±1.21	±22.62	±11.41	±1.4	±39.33	±15.61	± 1.87	± 0.65	± 0.99	± 1.33
GC (n=9)	Post	135.64	124.09	12.29	200.5	146.5	15.16	253.03	165.47	17.04	1.69	2.51	3.17
		±32.75	±9.22	±1.51	±28.3	±8.41	±1.55	±46.98	±14.29	± 2.33	± 0.61	± 1.03	± 1.4
	D	3.30	-1.90	3.71	-4.09	-3.47	-2.63	-1.98	-1.63	-3.29	-0.59	-6.69	5.09
	(p)	(0.894)	(0.576)	(0.58)	(0.103)	(0.286)	(0.102)	(0.415)	(0.484)	(0.612)	(0.458)	(0.094)	(0.381)

Valor medio ± desviación estándar

GIHT: Grupo Entrenamiento hipoxia; GC: Grupo control; Pre: Evaluación antes de IHT; Post: Evaluación después de IHT; P<sub>x</sub>= potencia a x mMol; FC<sub>x</sub>= frecuencia cardiaca a x mMol; RPE<sub>x</sub>= esfuerzo percibido a x mMol; Prelat<sub>x</sub>= potencia relativa al peso a 2.5,4 y 8 mMol; w= vatio; ppm= pulsaciones por minuto. w/Kg= vatio por kilogramo

Al analizar los datos y compararlos por grupos, observamos que no existen diferencias significativas entre los grupos del estudio en ninguno de los momentos medidos. Se observa como ambos grupos inician el estudio con valores similares, manteniéndose estos valores en el momento posterior al tratamiento.

Tal como observamos en la tabla 4 no existen diferencias significativas en la cantidad de entrenamiento realizado por el GIHT y el GC, ya que los valores de p se encuentran a lo largo de los 7 microciclos entre los 0.746 y los 0.896.

**Tabla 4.** Valores medios de trimps de cada microciclo por grupo

	Precompetición I			Competición I			
	Carga I	Impacto I	C/Rec I	Ajuste I	Carga I	Activación I	Competic I
GIHT (n=9)	1248.79	1258.87	971.85	961.39	1046.41	991.47	821.31
	±81.66	±82.32	±69.05	±59.52	±69.94	±57.15	±53.24
GC (n=9)	1244.44	1254.49	964.02	959.78	1037.00	985.77	815.00
	±53.48	±53.91	±41.11	±37.07	±48.86	±44.66	±39.44
D(trimps)	4.34	4.38	7.82	1.61	9.40	5.71	6.31
P	(0.896)	(0.896)	(0.775)	(0.946)	(0.746)	(0.817)	(0.779)

Valor medio ± desviación estándar TRIMPS= training impact. GIHT: Grupo Entrenamiento hipoxia; GC: Grupo control

## DISCUSIÓN

En esta investigación se ha medido la potencia, la frecuencia cardiaca y el esfuerzo percibido en el umbral anaeróbico, establecido a una concentración constante de 4 mmol/l y a los 2.5 y 8 mmol/l a cuyas concentraciones se sitúan las zonas aeróbico lipolítica o umbral aeróbico y la zona de aeróbico intenso o de capacidad aeróbica respectivamente. Como se ha podido comprobar a lo largo de este artículo, el hallazgo más importante se relaciona con que un programa de hipoxia intermitente de 7 semanas de duración con un protocolo de 2 sesiones a la semana, 60 minutos por sesión al 15-14.5 % FiO<sub>2</sub>, en triatletas produce un incremento significativo del 8.54 % de la potencia generada en el umbral anaeróbico del GIHT, que lleva asociado un incremento significativo del esfuerzo percibido a esa intensidad (RPE<sub>4Pre</sub>=14.93±0.78; RPE<sub>4Post</sub>=15.89±1.07). El aumento de la potencia en esta zona, se incrementa más aun al relativizarla al peso (9.86%). Estas variables se mantienen estables en el GC. Además, existe un descenso significativo de la frecuencia cardiaca a 2.5 mmol/l que no se produce en el GC (FC<sub>2.5</sub>:-12.01% en GIHT; -1.9% en GC).

El entrenamiento en hipoxia intermitente es utilizado para incrementar la capacidad aeróbica y el rendimiento aeróbico del deportista de resistencia al nivel del mar por los diferentes procesos adaptativos que producen en el organismo del atleta. Sin embargo, las conclusiones de los estudios realizados en los últimos años en este campo son discordantes (Czuba et al., 2013). Los trabajos previos que comprueban los efectos en el umbral anaeróbico producidos por los programas de IHT aprecian una clara mejora del rendimiento asociado a esta variable y por lo tanto, están en consonancia con los resultados obtenidos en nuestra investigación. Así, Dufour et al.(2006) observaron una mejora del 4 % en el umbral anaeróbico en atletas de resistencia de alto nivel después de 12 sesiones de 1 hora de duración al 14.5 % de FIO<sub>2</sub>. Estos resultados también coinciden con Czuba et al. (2011) que observaron mejoras en el umbral anaeróbico de ciclistas élite después de 3 semanas realizando 3 sesiones de 1 hora de duración al 15.2 % del FiO<sub>2</sub>. Este incremento puede verse justificado por la optimización en la capacidad de producir y soportar lactato durante el ejercicio (Hendriksen & Meeuwsen, 2003; Mizuno, Juel & Bro-Rasmussen, 1990; Saltin, Kim & Terrados, 1995). Esta adaptación se lleva a cabo a través de una hiperventilación que hace que se reduzca la PCO<sub>2</sub> y que deriva en un incremento del pH. Como consecuencia se observa un incremento en la secreción renal de bicarbonato que sirve para reducir los iones H<sup>+</sup> y amortiguar la concentración de ácido láctico. Esto produce un incremento del 5-18 % en la capacidad tampón del músculo (Mizuno et al., 1990; Saltin et al., 1995).

Sin embargo, esta mejora en el rendimiento no es tan clara en programas de exposición a hipoxia intermitente, observando en numerosos casos tan sólo un mantenimiento del umbral anaeróbico o un desplazamiento no significativo de la curva de lactato a la derecha, lo que sugiere una posible adaptación positiva al entrenamiento y al programa de hipoxia. Es el caso del estudio de Bonetti et al. (2006), que observan un mantenimiento de la potencia del umbral anaeróbico tras aplicar un programa de 15 sesiones de una hora de duración al 76-90% de la SpO<sub>2</sub> en 10 remeros. Lo mismo sucede en el estudio de Hinckson, Hopkins, Downey y Smith (2006) en el que se aplicó un programa de 14 sesiones de 90

minutos de duración entre el 80-92% de la SpO<sub>2</sub> en remeros. También existen otras investigaciones previas (Calbet et al, 2003; Consolazio, Nelson, Matoush & Hansen, 1996; Wolfel, Groves & Brooks, 1991; Tadibi, Dehnert, Menold & Bartsch, 2007) que utilizan la exposición a hipoxia intermitente como estímulo, donde el umbral anaeróbico no se modificó o incluso descendió tras un programa de altitud simulada (Katayama, Matsuo, Ishida, Mori & Miyamura, 2003; Lundby, Nielsen & Dela, 2005). Los resultados de nuestra investigación son compartidos por Bonetti et al. (2009) que observaron un incremento del 6.5% en la potencia generada en el umbral anaeróbico de 18 triatletas y ciclistas después de 15 sesiones de 60 minutos de duración a una SpO<sub>2</sub> del 76-90% o por Friedmann et al (2005) que observaron un incremento del 3 % en la velocidad del umbral anaeróbico tras un programa de IHE de 4 horas diarias al 15 % del FiO<sub>2</sub> en 16 nadadores. Estos resultados concuerdan con los que obtienen Rodríguez, Ventura y Casas (2000) que observaron un incremento significativo en la potencia desarrollada en el umbral anaeróbico en ciclistas después de tres semanas de exposición a hipoxia intermitente a 5500 m, durante 3 horas, 3 veces por semana.

Además, recientes publicaciones (Girard et al., 2013; Millet, Faiss, Brocherie & Girard, 2013) sugieren que los programas de hipoxia intermitente también pueden producir beneficios en el rendimiento de deportes intermitentes, corroborando los resultados de Wood, Dowson y Hopkins (2006) que apreciaron un incremento del 3,7 % en la velocidad del umbral anaeróbico después de aplicar en deportes colectivos un programa de 15 sesiones entre el 70-100% de la SpO<sub>2</sub>. Morton & Cable (2005) muestran un mantenimiento del umbral anaeróbico en jugadores de deportes colectivos después de 4 semanas de IHT, 3 veces por semana, 30 minutos por sesión.

Fundamentalmente, estos resultados tan divergentes se justifican con la diversidad de protocolos en los programas administrados. De este modo, la duración del programa o de la sesión puede modificar el grado de adaptación del individuo, siendo la duración mínima de la sesión para que esta sea un estímulo que supere el umbral de adaptación y produzca una reacción aguda de 90 min en los programas de IHE (Rodríguez et al., 2000) y de 60 min en los de IHT (Millet et al. 2010). Hay que tener también en cuenta la frecuencia semanal, la altitud simulada o el tipo de hipoxia (hipobárica o normobárica), ya que son elementos que inciden en la variabilidad de los resultados y que deben de esclarecerse para una correcta aplicación de estos métodos (Millet et al., 2010). Además, también es clave la intensidad de la sesión, que debería ser cercana al umbral anaeróbico, así como la duración del estímulo o serie, que debe de completar unos 20-45 minutos (Millet et al., 2009). A esto hay que sumar que se observan diferencias individuales producidas por estos programas, que probablemente están relacionadas con aspectos genéticos (Gómez-Gallego et al., 2009), llegando en algunos casos a producir unas mejoras similares a las obtenidas con la administración de eritropoyetina exógena (Sanchís-Gomar et al., 2009) lo que genera que exista un debate sobre su legalidad (Hinghofer-Szalkay, 2010).

La mejora del umbral anaeróbico tras la aplicación de un programa de hipoxia intermitente se produce por un descenso en la frecuencia cardiaca submáxima y un desplazamiento de la curva de lactato a la derecha (Casas, Casas & Pages, 2000). En esta investigación se observa un descenso significativo de la frecuencia cardiaca a 2.5 mmol/l (Pre=  $131.01 \pm 12.03$ ; Post=  $115.27 \pm 14.67$  ppm) y una tendencia no significativa al descenso en el umbral anaeróbico (Pre=  $153.4 \pm 12.5$ ; Post=  $148.66 \pm 12.7$  ppm) en el GIHT. Estas adaptaciones se deben a una mayor eficiencia del sistema cardiovascular que se relaciona con un aumento del tamaño del ventrículo izquierdo que deriva en un incremento del volumen sistólico, junto con una mayor contractilidad del miocardio (Spina, 1999). Este descenso de la frecuencia cardiaca a intensidades submáximas que se produce en nuestro estudio ya ha sido descrito por otras investigaciones. Svedenhag, Piehl-aulin, Skog y Saltin (1997) observaron un descenso de la frecuencia cardiaca a intensidades máximas y submáximas en esquiadores que entrenaban a 1900 m de altitud. Wood et al. (2006) también observaron un aumento de la frecuencia cardiaca en el umbral anaeróbico después de un programa de 15 sesiones entre el 70-100% de la SpO<sub>2</sub> con jugadores de deportes colectivos.

En la frecuencia cardiaca a 8 mmol/l se observa una tendencia al aumento (Pre=  $170.45 \pm 14.46$ ; Post=  $174.66 \pm 10.12$  ppm) que puede deberse a un incremento de la descarga del sistema nervioso simpático junto a la concentración de catecolaminas circulantes y al aumento del retorno venoso (Spina, 1999). Estos datos concuerdan con los obtenidos por Rodríguez et al. (2007) en la frecuencia cardiaca a máxima intensidad después de un programa de IHT de 4 semanas de duración en nadadores y corredores. Del mismo modo, Hamlin y Hellemans (2007) observaron un aumento de la frecuencia cardiaca máxima en un test de carrera después de un programa de 3 semanas de exposición a hipoxia intermitente.

La frecuencia cardiaca se adapta de manera individual, acentuándose estas diferencias por efecto de la hipoxia. La dinámica de adaptación podría estar vinculada a las capacidades de rendimiento de cada uno de los sujetos y a su capacidad de respuesta a la altura (respondedores o no respondedores) (Funes et al., 2010). Para ajustar la carga de entrenamiento la frecuencia cardiaca tiene que ser determinada individualmente (Friedmann et al., 2005), de modo que para obtener los mismos valores de frecuencia cardiaca en hipoxia y normoxia, la intensidad relativa del esfuerzo es mayor en condiciones de altitud (Friedmann, Bauer, Menold & Bartsch, 2004), por lo que la mejor forma de adaptar la carga de entrenamiento es a partir del cálculo del umbral anaeróbico individual del sujeto en cada una de las altitudes utilizadas (Millet et al., 2010).

Para finalizar, podemos afirmar que se corrobora la teoría que asevera que los programas IHT incrementan el umbral anaeróbico de los triatletas que llevaron a cabo este tratamiento. Tenemos que tener en cuenta, que las modificaciones que producen estas herramientas son pequeñas y los sistemas a los que influyen son difíciles de alterar, requiriendo tiempo para que se desarrollen. Además, este tipo de programas, no sólo afectan al rendimiento del

deportista, ya que también se están utilizando como medio de recuperación y de asimilación de cargas de entrenamiento, así como para mejorar la salud, la calidad de vida y para prevenir enfermedades asociadas a la altitud a través de la preaclimatación (Millet et al., 2010). Por ello, como recomendaciones generales los programas de entrenamiento en hipoxia intermitente orientados al deportista de alto nivel deben ubicarse en la fase competitiva de la temporada, llevando a cabo dos sesiones de IHT a la semana a una altitud entre los 2500-3000 m y a una intensidad próxima al umbral anaeróbico. Además, estos estímulos se pueden complementar con 4-5 exposiciones a hipoxia intermitente semanales de 3 horas de duración (Millet et al., 2010).

## CONCLUSIÓN

Se ha podido comprobar cómo un programa de entrenamiento en hipoxia de 7 semanas de duración, 60 minutos por sesión, 2 veces por semana al 14.5-15% de FiO<sub>2</sub>, es un método eficaz para incrementar el rendimiento aeróbico al nivel del mar en los triatletas participantes en esta investigación. Este programa provocó en la muestra de estudio mejoras significativas en los umbrales de lactato, causando un incremento en la potencia generada y el esfuerzo percibido en el umbral anaeróbico y aumentando la eficiencia del funcionamiento cardíaco en el umbral aeróbico. Las discrepancias sobre la efectividad de los programas de entrenamiento en hipoxia intermitente sobre el rendimiento aeróbico de los estudios previos se justifican por la aplicación de protocolos dispares que hacen que la respuesta al estímulo hipóxico sea diferente.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Balsalobre-Fernández, C. Tejero-González, C.M., del Campo-Vecino, J. & Alonso-Curiel, D. (2014) Hypoxic exposure as a means of increasing sporting performance: fact or fiction? *International Journal of Medicine and of Physical Activity and Sport*. 14(53), 183-198.
- Banister, E.W. (1991) Modeling elite athletic performance. In *Physiological testing of elite athletes*. Green, H., McDougal, J. y Wenger, H. Champaign, IL. Human Kinetics. 403-424.
- Bonetti D.L, Hopkins W.G & Kilding A.E. (2006) High-intensity kayak performance after adaptation to intermittent hypoxia. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 1, 246-60.
- Bonetti, D. L., Hopkins, W. G., Lowe, T. E., Boussana, A., & Kilding, A. E. (2009). Cycling performance following adaptation to two protocols of acutely intermittent hypoxia. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 4, 68-83.
- Calbet, J. A., Boushel, R., Radegran, G., Sondergaard, H., Wagner, P. D. & Saltin, B. (2003). Why is VO<sub>2</sub>max after altitude acclimatization still reduced despite normalization of arterial O<sub>2</sub> content? *American Journal of Physiology*, 284, 304-316. <http://dx.doi.org/10.1152/ajpregu.00156.2002>

- Campbel, P., Katzmarzyk, P., Malina, R., Rao, D., Perusse, L. & Bouchard, C. (2001) Prediction of physical activity and physical work capacity (PVC150) in young adulthood from childhood y adolescence with consideration of parental measures. *American Journal of Human Biology*, 12, 190-196. [http://dx.doi.org/10.1002/1520-6300\(200102/03\)13:2<190::AID-AJHB1028>3.0.CO;2-N](http://dx.doi.org/10.1002/1520-6300(200102/03)13:2<190::AID-AJHB1028>3.0.CO;2-N)
- Carig, N., Walsh, C., Martin, D., Woolford, S., Borudon, P., Stanef, T. & Savage, B. (2000). *Protocols for the Physiological Assesment of High-Performance Track, Road and Mountain Cyclist*. En A. S. Commision (Ed.), *Physiological test for elite athletes*. Gore, C. Champaing: Human Kinectis.
- Casas, M., Casas, H. & Pagés, T. (2000). Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimatization and improves the lactate threshold. *Aviation Space and Environment Medicine*, 71, 125-130.
- Consolazio, C. f., Nelson, R. A., Matoush, L. O. & Hansen, J. E. (1966). Energy metabolism at high altitude. *Journal of Applied Physiology*, 21 (4), 1732-1740.
- Czuba, M., Waskiewicz, Z., Zajac, A., Poprzecki, S., Cholewa, J. & Roczniok, R. (2011) The effects of intermitent hypoxic training on aerobic capacity and endurance performance in cyclists. *Journal of Sport Science and Medicine*, 10, 175-183.
- Czuba, M., Zajac, A., Maszcyk, A., Roczniok, R., Poprzecki, S., Garbaciak, W. & Zajac, T. (2013) The effects of High Intensity Interval Training in Normobaric Hypoxia on Aerobic Capacity in Basketball Players. *Journal of Human Kinetics*, 39, 103-114. <http://dx.doi.org/10.2478/hukin-2013-0073>.
- Dufour, S., Ponsot, E., Zoll, J., Doutreleau, S., Geny, B., Lampert, E. & Billat, V. (2006) Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners I. Improvement in aerobic performance capacity. *Journal of Applied Physiology*, 100, 1238-1248. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00742.2005>
- Friedmann, B., Frese, F., Menold, E., Kauper, F., Jost, J. & Bartsch, P. (2005). Individual variation in the erythropoietic response to altitude training in elite junior swimmers. *British Journal of Sports Medicine*, 39, 148-153. <http://dx.doi.org/10.1136/bjism.2003.011387>
- Friedmann, B., Bauer, T., Menold, E. & Bartsch, P. (2004). Exercise with the intensity of the individual anaerobic threshold in acute hypoxia. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1737-1742. <http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000142307.62181.37>
- Funes, D., Sarmiento, S., Rodríguez, F., Rivero, I., Rodríguez, R. & García-Manso, J. M. (2010). Respuesta de la frecuencia cardiaca a un esfuerzo aeróbico moderado en hipoxia aguda. *Revista de Entrenamiento Deportivo*, 24, 5-12.
- Geiser, J., Vogt, M. & Billeter, R. (2001) Training high-living low: changes of aerobic performance and muscle structure with training at simulated altitude. *International Journal of Sports Medicine*, 22, 579-585. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2001-18521>
- Girard, O., Amann, M., Aughey, R., Billaut, F., Bishop, J., Bourdon, P., Buchheit, M., Chapman, R., Gore, C., Millet, G., Roach, G., Sargent, C., Saunders, U., Schmidt, W. & Schumacher, Y. (2013) Position statement—altitude training for improving team-sport players performance: current knowledge and unresolved

- issues. *British Journal of Sports Medicine*, 47, i8-i16. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2013-093109>
- Gómez-Gallego, F., Santiago, C., González-Freire, M., Muniesa, C.A., Fernández Del Valle, M., Pérez, M. & Lucía, A. (2009) Endurance performance: genes or gene combinations? *International Journal of Sports Medicine*, 30, 66-72. <http://dx.doi.org/10.1055/s-2008-1038677>
- Gore, C.J., Hahn, A.G., Aughey, R., Martin, D., Ashenden, M.J. & Clark, S.A. (2001) Live high-train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiologica Scandinavica*, 173, 275-286. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-201X.2001.00906.x>
- Hamlin, M.J., Marshall, H.C., Hellemans, J. & Ainslie, P.N. (2010) Effect of intermittent hypoxia on muscle and cerebral oxygenation during a 20-km time trial in elite athletes: a preliminary report. *Applied Physiology of Nutrition and Metabolism*, 35, 548-559. <http://dx.doi.org/10.1139/H10-044>
- Hamlin, M. J. & Hellemans, J. (2007). Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. *Journal of Sports Science*, 25, 431-441. <http://dx.doi.org/10.1080/02640410600718129>
- Hendriksen, I.J. & Meeuwssen, T. (2003) The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 88, 396-403. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-002-0708-z>
- Hinckson, E. A., Hopkins, W. G., Downey, B. M. & Smith, T. B. (2006). The effect of intermittent hypoxic training via a hypoxic inhaler on physiological and performance measures in rowers: a pilot study. *Journal of Science Medicine and Sport*, 9, 177-180. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jsams.2006.01.001>
- Hinghofer-Szalkay, H. (2010) Intermittent hypoxic training: risks versus benefits. *European Journal of Applied Physiology*, 108, 417. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-009-1274-4>
- Katayama K, Sato K, Matsuo H, Ishida K, Iwasaki K & Miyamura M. (2004) Effect of intermittent hypoxia on oxygen uptake during submaximal exercise in endurance athletes. *European Journal of Applied Physiology*; 92, 75-83. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-004-1054-0>
- Katayama, K., Matsuo, H., Ishida, K., Mori, S. & Miyamura, M. (2003). Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. *High Altitude Medicine and Biology*, 4, 291-304. <http://dx.doi.org/10.1089/152702903769192250>
- Kindermann, W., Simon, G. & Keul, J. (1979). The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *European Journal of Applied Physiology*, 42, 25-34. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00421101>
- Levine, B. & Stray-Gundersen, J. (1997) "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *Journal of Applied Physiology*, 83, 102-112.
- Levine, B.D. & Stray-Gundersen, J. (2005) Point: positive effects of intermittent hypoxia (live high:train low) on exercise performance are mediated primarily

- by augmented red cell volume. *Journal of Applied Physiology*, 99, 2053-2055. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00877.2005>.
- Lundby, C., Nielsen, T. & Dela, F. (2005). The influence of intermittent altitude exposure to 4100 m on exercity and blood capacity and blood variables. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sport*, 15, 182-187. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1600-0838.2004.405.x>
- MacDougall, J. D., Hicks, A. L., MacDonald, J. R., McKelvie, R. S., Green, H. J. & Smith, K. M. (1998) Muscle performance and enzymatic adaptations to sprint interval training. *Journal of Applied Physiology*, 84, 2138-2142.
- Matveiev, L. P. (1985) *Fundamentos del entrenamiento deportivo*. Moscú: Raduga.
- Meeuwssen, T., Hendriksen, I.J. y Holewijn, M. (2001) Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 84, 283-290. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210000363>.
- Millet, G.P., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X. & Richalet, J.P. (2010) Combining hypoxic methods for peak performance. *Sports Medicine*, 40, 1-25. <http://dx.doi.org/0112-1642/10/0001-0001>
- Millet, G.P., Faiss, R., Pialoux, V., Mounier, R. & Brugniaux, J. (2012) Hypobaric hypoxia induces / does not induce different responses than normobaric hypoxia. *Journal of Applied Physiology*, 112, 1795. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00067.2012>
- Millet, G. P., Woorons, X. & Roels, B. (2009). Effects of intermittent hypoxia training on peak performance in elite athletes. In L. Xi & S. Serebrovskaya (Eds.), *Intermittent Hypoxia* (pp. 459-471). New York: Nova Science.
- Millet, G., Faiss, R., Brocherie, F. & Girard, O. (2013) Hypoxic training and team sports: a challenge to traditional methods?. *British Journal of Sports Medicine*, 47, i6-i7. <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2013-092793>.
- Morton, J.P. & Cable, N.T. (2005) Effects of intermittent hypoxic training on aerobic y anaerobic performance. *Ergonomics*, 48, 1535-1546. <http://dx.doi.org/10.1080/00140130500100959>
- Navarro, F. (1998) *Entrenamiento de la Resistencia*. 1998. Madrid: Gymnos.
- Padilla, S., Mujika, I., Orbañanos, J. & Angulo, F. (2000) Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 32, 850-856. <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200004000-00019>
- Padilla, S., Mujika, I., Orbañanos, J., Santisteban, J., Angulo, F. & Goirena, J. J. (2001) Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 33 796-802. <http://dx.doi.org/10.1097/00005768-200105000-00019>
- Puype, J., Van Proeyen, K., Raymarkers, J.M., Delcicque, L. & Hespel, P. (2013) Sprint Interval Training in hypoxia stimulates glycolytic enzyme activities. *Medicine and Science in Sport and Exercise*, 45 (11), 2166-2174. <http://dx.doi.org/10.1249/MSS.0bo13e31829734ae>
- Ramos, D. J., Martínez, F., Esteban, P., Rubio, J., Mendizábal, S. & Jiménez, J. F. (2011) Modificaciones hematológicas producidas por un programa de

- exposición a hipoxia intermitente de ocho semanas de duración en ciclistas. Archivos de Medicina del Deporte, 28, 257-264.
- Rodríguez, F. A., Ventura, J. & Casas, M. (2000). Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. European Journal of Applied Physiology, 82, 170-177. <http://dx.doi.org/10.1007/s004210050669>
- Rodríguez, F. A., Truijens, M., Townsend, N., Stray-Gundersen, J., Gore, J. & Levine, B. D. (2007). Performance of runners and swimmers after four weeks of intermittent hypobaric hypoxic exposure plus sea level training. Journal of Applied Physiology, 103, 1523-1535. <http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.01320.2006>.
- Roels, B., Millet, G.P., Marcoux, C.J., Coste, O., Bentley, D.J. & Candau, R.B. (2005) Effects of hypoxic interval training on cycling performance. Medicine and Science in Sports and Exercise, 37, 138-146. <http://dx.doi.org/10.1249/01.MSS.0000150077.30672.88>.
- Roels, B., Bentley, D.J., Coste, O., Mercier, J. & Millet, G.P. (2007) Effects of intermittent hypoxic training on cycling performance in well-trained athletes. European Journal of Applied Physiology, 101, 359-368. <http://dx.doi.org/10.1007/S00421-007-0506-8>.
- Sanchis-Gomar, F., Martinez-Bello, V.E., Domenech, E., Nascimento, A.L., Pallardo, F.V., Gomez-Cabrera, M.C. & Vina, J. (2009) Effect of intermittent hypoxia on hematological parameters after recombinant human erythropoietin administration. European Journal of Applied Physiology, 107, 429-436. <http://dx.doi.org/10.1007/s00421-009-1141-3>.
- Skinner, J. & McLellan, T. (1980) The transition from aerobic to anaerobic metabolism. Research Quarterly of Exercise in Sport, 51, 234-248. <http://dx.doi.org/10.1080/02701367.1980.10609285>.
- Spina, R. J. (1999). Cardiovascular adaptations to endurance exercise training in older men and women. Exercise Sport Science Review, 27, 317-332. <http://dx.doi.org/10.1249/00003677-199900270-00012>.
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R. & Levine, B. (2001) "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. Journal of Applied Physiology, 91, 1113-1120.
- Svedenhag, J., Piehl-aulin, K., Skog, C. & Saltin, B. (1997). Increased left ventricular muscle mass after long-term altitude training in athletes. Acta Physiologica Scandinavica, 161, 63-70. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-201X.1997.00204.x>
- Tadibi, V., Dehnert, C., Menold, E. & Bartsch, P. (2007). Unchanged anaerobic and aerobic performance after short-term intermittent hypoxia. Medicine and Science in Sports and Exercise, 39, 858-864. <http://dx.doi.org/10.1249/mss.0b013e31803349d9>
- Terrados, N., Melichna, J., Sylven, C. & Jansson, E. (1998) Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. European Journal of Applied Physiology, 57, 203-209. <http://dx.doi.org/10.1007/BF00640664>.
- Truijens, M.J., Toussaint, H.M., Dow, J. & Levine, B.D. (2003) Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. Journal of

- Applied Physiology, 94, 733-743.  
<http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00079.2002>.
- Vallier, J.M., Chateaou, P. & Guezennec, C. (1996). Effects of physical training in a hypobaric chamber on the physical performance of competitive triathletes. European Journal of Applied Physiology, 21, 73-80.  
<http://dx.doi.org/10.1007/bf00334426>.
- Wilber, R.L. (2011) Application of altitude/hypoxic training by elite athletes. Journal of Human Sports and Exercise, 6, 1-12.  
<http://dx.doi.org/10.4100/jhse.2011.62.07>.
- Wolfel, E. E., Groves, B. M. & Brooks, G. A. (1991). Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. Journal of Applied Physiology, 70, 1129-1136.
- Wood, M.R., Dowson, M.N. & Hopkins, W.G. (2006) Running performance after adaptation to acutely intermittent hypoxia. European Journal of Applied Physiology, 6, 163-172. <http://dx.doi.org/10.1080/17461390600571005>.
- Zoll, J., Ponsot, E., Dufour, S., Doutreleau, S., Ventura, R., Vogt, M. & Fluck, M. (2006) Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. Journal of Applied Physiology, 100, 1258-1266.  
<http://dx.doi.org/10.1152/jappphysiol.00359.2005>.

**Número de citas totales / Total references:** 60 (100%)

**Número de citas propias de la revista / Journal's own references:** 1(1,67%)