



Ramos, D.J.; Martínez, F.; Rubio, J.A.; Esteban, P.; Mendizábal, S. y Jiménez, J.F. (2010). Physiological changes alter intermittent hypoxia program in trained and untrained subjects. *Journal of Sport and Health Research*. 2(2):151-166.

Original

**MODIFICACIONES EN PARÁMETROS FISIOLÓGICOS
TRAS UN PROGRAMA DE HIPOXIA INTERMITENTE
EN SUJETOS ENTRENADOS Y NO ENTRENADOS**

**PHYSIOLOGICAL CHANGES AFTER INTERMITTENT
HYPOXIA PROGRAM IN TRAINED AND UNTRAINED
SUBJECTS**

Ramos, D.J.; Martínez, F.; Rubio, J.A.; Esteban, P.; Mendizábal, S. y Jiménez, J.F.

University of Castilla-La Mancha. Toledo.

Correspondence to:

Ramos, D. J.

Laboratorio de Rendimiento y Readaptación Deportiva
Avd Carlos III s/n Edificio 12.1 Campus Tecnológico.
Antigua Fábrica de Armas. 45071. Toledo. España

Email: DomingoJesus.Ramos@uclm.es

*Edited by: D.A.A. Scientific Section
Martos (Spain)*



Received: 18/02/2010

Accepted: 05/04/2010



RESUMEN

Introducción: El objetivo de este estudio es comprobar la efectividad de un programa de hipoxia intermitente en ciclistas y en sujetos activos. La exposición a hipoxia intermitente se ha utilizado como método de entrenamiento en altura con deportistas de alto nivel y otras poblaciones, a través de la aplicación de intervalos de hipoxia combinados con normoxia, en un intento de mejorar su rendimiento y calidad de vida a través del incremento de parámetros hematológicos y fisiológicos encargados del transporte de oxígeno en sangre.

Material y Método: Sujetos: Formaron parte del estudio 8 sujetos activos (Edad: 24.7 años; Talla: 177 cm; Peso: 76.1 Kg) divididos en GH₁ (Grupo hipoxia activos) (n=4) y GC₁ (Grupo control activos) (n=4) y 11 ciclistas (Edad: 27.3 años; Talla: 176.9 cm; Peso: 73.5 Kg) divididos en GH₂ (Grupo hipoxia ciclistas) (n=7) y GC₂ (Grupo control ciclistas) (n=4). Se obtuvieron como variables el VO₂max, los valores de frecuencia cardiaca y potencia generada en el Umbral Anaeróbico (Uan). Protocolo: Se realizó una valoración previa al tratamiento y otra al finalizar éste. Los test consistieron en composición corporal por bioimpedancia eléctrica (Inbody 720), un test de VO₂max y un test de umbrales en cicloergómetro (Monark 839-E).

Resultados: La Potencia generada en el Uan se incrementa en el GH₁ un 12.28%, se mantiene en el GC₁ y GC₂ y disminuye un 9.83 % en el GH₂. Por otro lado, el VO₂max desciende un 4.09 % en el GH₁, un 1.24% en el GC₁, un 7.69 % en el GH₂ y un 12.94% en el GC₂.

Conclusiones: La exposición a hipoxia intermitente utilizando un protocolo de 2 meses de duración entre 11 y 14% de O₂ inspirado, fisiológicamente no afecta a los deportistas entrenados pero si produce un aumento de los parámetros fisiológicos medidos en sujetos activos.

Palabras clave: Exposición intermitente de hipoxia (EIH), Ciclismo, VO₂max. Umbral anaeróbico.

ABSTRACT

Introduction: The aim of this study is to probe the effectiveness of an intermittent hypoxia program in cyclists and active subjects. The intermittent hypoxia exposure, as altitude training method with hypoxia and normoxia interval, is used by elite athletes and other populations for improve their performance and quality of life. The effects of this type of programs increase the capacity of transporting oxygen in blood.

Methods: Subjects: In study participate 8 active subjects (age: 24.7 years; Height: 177 cm Weight: 76.1 kg) divided in GH₁ (n=4) y GC₁ (n=4) and 11 cyclists (age: 27.3 years; Height: 176.9 cm Weight: 73.5 kg) divided in GH₂ (n=7) y GC₂ (n=4). Variables: VO₂max, heart rate and power in Uan. Protocol: There are two probe, one before and at the end of the treatment. The test included a body composition (Inbody 720), VO₂max test and Anaerobic Threshold test in cicloergometer (Monark 839-E).

Results: The power in the Anaerobic Threshold increases a 12.28% in GH₁, remains unchanged in GC₁ and GC₂ and decrease a 9.83 % in GH₂. In the other hand, VO₂max decreases a 4.09 % in GH₁, 1.24% in GC₁, 7.69 % in GH₂ and 12.94% in GC₂.

Conclusions: The hypoxia intermittent treatment using a protocol for 2 months, from 11 to 14% of O₂ inspired, not affects physiologically trained subjects. However, with this protocol there is an increase in physiological parameters in active subjects.

Key words: Intermittent Hypoxia Exposure (IHE), cycling, VO₂max, Anaerobic threshold.



INTRODUCCIÓN

Para localizar los orígenes del entrenamiento en altitud hay que ir a finales al año 1878, donde el fisiólogo francés Paul Bert realiza un estudio sobre los cambios fisiológicos debidos a la altura. En su tratado "La Presión Barométrica", el autor relaciona la disminución de la presión barométrica y los cambios fisiológicos y patológicos provocados por la altura (Kellogg, 1978), que derivan en la reducción de la disponibilidad de O₂.

La hipoxia es una disminución de la presión parcial de oxígeno en el estado gaseoso o de la tensión de éste en fase líquida. En situaciones normales (normoxia) hay una relación equilibrada entre la aportación de oxígeno y la demanda de éste. En condiciones de hipoxia se altera este ratio, existiendo una menor disponibilidad de O₂, pudiendo también inducir esta situación un aumento de la demanda de O₂ sin que cambie su disponibilidad.

En los organismos aeróbicos, como son los vertebrados mamíferos, se tiene la necesidad de mantener la homeostasis del cuerpo, y por lo tanto un aporte constante de oxígeno (Prabhakar, 2000). Cada célula tiene la capacidad de detectar la falta de oxígeno. Además, como todos los sistemas están integrados en el organismo, se desencadenan reacciones para mantener el equilibrio oxidativo en búsqueda de la homeostasis. El organismo reacciona ante la hipoxia aclimatándose a la altura a través de diferentes mecanismos en función de la duración y grado de hipoxia en el que nos encontremos (Hochachka, 1998).

En el aparato cardio-respiratorio como respuesta a la hipoxia se produce una hiperventilación inicial (West, 1993) en relación a la disminución de la presión parcial arterial de CO₂, que tiene como objetivo aumentar de esta manera la presión del O₂. Además, se produce una vasodilatación periférica por el aumento del volumen sanguíneo que llega a los tejidos y una vasoconstricción alveolar, por el aumento del tiempo en que la sangre permanece oxigenándose en los pulmones.

Por otro lado, la hipoxia disminuye el O₂ contenido en la sangre arterial y atenúa el VO₂max en torno al 5-7% (Fulko, Rock y Cymerman, 1998). Este parámetro es un factor limitante del rendimiento en disciplinas atléticas con distancias inferiores a 4000 m. (Craig, Norton y Bourdon, 1993). Como consecuencia, no sorprende que a 600 m de altitud se ha encontrado una reducción en la potencia emitida en cicloergómetro del 5.9% (Gore, Little y Hahn, 1997). También se muestra que cuando se respira gas hipóxico (2100m), las ciclistas de elite, en un ejercicio continuo de potencia durante 10 min, producen un 5-6% menos que a nivel del mar. Sin embargo estos datos no están relacionados directamente con la velocidad de desplazamiento de la bicicleta. En altitud, la densidad del aire es menor por la disminución de la presión barométrica, lo que genera una menor resistencia al avance del aire y un aumento de la velocidad.

La saturación de oxígeno (SaO₂) decrece en altitud, creando en algunos deportistas de resistencia una hipoxemia arterial (Dempsey y Foster, 1982; Dempsey, Hanson y Henderson, 1984) que deriva en un descenso progresivo en el VO₂max (Squires y Buskirk, 1982; Terrados, Mizuno y Andersen, 1985). Este decrecimiento, es superior a mayor altitud, de forma que cada 1% de decrecimiento en SaO₂ disminuye un 1-2% el VO₂max (Dempsey y Wagner, 1999).

Desde el punto de vista cardíaco se observa una estimulación de la actividad simpática que se traduce en un aumento de la frecuencia cardíaca (Peacock, 1998). Después de semanas, se produce una disminución de la frecuencia cardíaca al aumentar el volumen sistólico.

Por otra parte el volumen plasmático disminuye y la frecuencia cardíaca se incrementa durante el ejercicio submáximo. Sin embargo, el volumen sistólico puede decrecer durante el entrenamiento de resistencia en altitud (Peltonen, Tikannen y Rusko, 2001).



Metabólicamente, se produce a nivel celular una activación de los transportadores de O_2 , provocando variaciones en la permeabilidad de este gas. También existe un aumento del número de mitocondrias para una mejor oxidación a largo plazo. La inclusión de sesiones de hipoxia en el entrenamiento usual de los deportistas mejora cualitativamente las funciones mitocondriales, proporcionando una estricta integración entre la demanda y el aporte de ATP (Ponsot, et al. 2005).

En deportistas de resistencia, la capacidad de los músculos de recibir y consumir oxígeno supera la capacidad del sistema cardiovascular para transportarlo (Wagner, 2000). El principal beneficio para el uso de la altitud como medio de entrenamiento se relaciona con la estimulación de la eritropoyesis y aumento del número de glóbulos rojos, lo que hace más eficiente el transporte de O_2 hacia los músculos activos e incrementa el VO_{2max} (Mairbaurl, Schobersberger y Humpeler, 1986; Berglund, 1992).

El interés del entrenamiento en altitud surge a raíz de los Juegos Olímpicos de México en 1986, debido a la altitud a la que se encuentra este país. Durante los últimos 20 años, el número de técnicas y métodos para simular la altitud mediante el entrenamiento en condiciones de hipoxia han incrementado notablemente. Cámaras hipobáricas, tiendas de campaña, respiradores, y otros mecanismos han dado lugar al término *Entrenamiento de hipoxia intermitente* (IHT). Este tipo de entrenamiento, originario en la antigua URSS (Rusko, Tikkanen, y Peltonen, 2004) consiste en exponer a los deportistas a aire hipóxico (9-14%) intermitentemente en intervalos de 5 min alternados con 5 min de aire normóxico (20.9% O_2), durante una hora de sesión, realizando 1-2 sesiones al día, durante un periodo de 15-20 días. El efecto de la exposición al aire en altitud sobre el rendimiento en el entrenamiento de resistencia está relacionado con el incremento de la producción de eritrocitos y por lo tanto con el aumento de la capacidad

de transporte del oxígeno en sangre (Bernardi, 2001; Serebrovskaya, 2002). Además este tipo de entrenamiento induce al incremento ventilatorio, produciendo cambios fisiológicos como es el incremento de la hematopoyesis o la difusión alveolar (Bernardi, 2001; Serebrovskaya, 2002; Bonetti, 2009).

La exposición a este tipo de entrenamiento tiene un efecto positivo sobre el rendimiento a nivel del mar (Bulgakova, Kovalev y Volkov, 1999; Burtscher et al, 2009). Por este motivo, es un método utilizado en el alto rendimiento deportivo con atletas de resistencia, produciendo mejoras en su capacidad (Hellemans, 1998). Esta mejora en el rendimiento se produce junto a un incremento en los parámetros hematológicos (la hemoglobina, el hematocrito, y los reticulocitos), que indican una mayor estimulación de la eritropoyesis a través del aumento de los reticulocitos (Hellemans, 1998; Rodriguez, Casas, y Casas, 1999; Rodriguez, Murio, y Ventura, 2003, Bonetti, et al., 2009, Sanchis-Gomar, et al, 2009). Además ocurren unas aclimataciones fisiológicas relacionadas con la reducción de la frecuencia cardiaca y la ventilación por minuto (Burtscher, Tsvetkova y Tkatchouk, 1999), alcanzando unos resultados similares o superiores a los observados con el método de altitud in situ *HiHi* (entrenar y vivir en altitud) o *HiLo* (vivir en altitud y entrenar a nivel del mar) (Rusko, et al., 2004)

Para lograr los objetivos primordiales en este tipo de entrenamiento, la literatura (Rusko, et al., 2004) recomienda exposiciones de 3-5h diarias durante 2-4 semanas. Sin embargo, estos resultados necesitan ser confirmados debido a que en esos trabajos hay una ausencia del grupo de control en la investigación.

En la actualidad la orientación de este tipo de programas ha girado hacia un ámbito relacionado con la salud. En los últimos años ha tomado especial interés la aplicación de estos programas en enfermos (Kolchinskaya, Zakussilo, Radziyevskiy, y



Kozlov, 1998; Serebrovskaya, Karaban et al, 2000; Burtscher, Pachinger y Mitterbauer, 2004; Korhuskho, Satilo y Ischuk, 2007, Korkushko, Pysaruk, Lyshnevs'ka, Asanov, y Chebotar, 2005; Burtscher, et al 2009, Viscor, et al, 2009) en un intento de mejora de su salud y calidad de vida.

Como conclusión, los resultados obtenidos con el método de entrenamiento IHT son ambiguos, surgiendo la necesidad de realizar estudios que nos aporten más información sobre los beneficios de la hipoxia sobre diferentes poblaciones.

Por lo tanto, el propósito del estudio es analizar los cambios fisiológicos determinantes en el rendimiento deportivo de ciclistas de categoría elite, y por otro lado, analizar estos parámetros en sujetos activos.

MATERIAL Y MÉTODOS

El estudio se realizó con sujetos activos y ciclistas de categoría elite divididos en dos grupos experimentales y dos grupos control que fueron sometidos a un programa de hipoxia intermitente de 8 semanas de duración. Se llevó a cabo una primera evaluación antes del programa y otra al finalizar éste.

Participantes:

Formaron parte de este estudio 8 sujetos activos pertenecientes a la Facultad de Ciencias del Deporte de la Universidad de Castilla la Mancha, divididos en un grupo experimental (GH₁) (n=4) y un grupo control (GC₁) (n=4). Para la inclusión dentro del estudio, los participantes debían ser clasificados como activos por Ross y Jackson, (1990). Para ello, debían tener un nivel de actividad física (AC) con un valor comprendido entre 4 y 6, cuyas características se relacionan con un entrenamiento regular, durante 2-3 veces a la semana y con una duración de entre 45 min y 3 horas. Además, los participantes no podían realizar actividad física en el ámbito competitivo y no podían presentar

enfermedad o lesión previa al comienzo del estudio.

Por otro lado, participaron en este estudio 11 ciclistas categoría élite, divididos aleatoriamente en un grupo experimental (GH₂) (n=7) y un grupo control (GC₂) (n=4). Todos los sujetos formaban parte de un grupo deportivo de la región. Para poder formar parte del estudio los ciclistas debían tener al menos 5 años de experiencia en el deporte. Además, el carácter de la práctica de éste debía ser competitiva, y no debían presentar enfermedad o lesión previa al comienzo del estudio. Las características descriptivas de la muestra se observan en la tabla 1.

Tabla 1: Características descriptivas de la muestra.
Media ± Desviación Estándar

	Participantes			
	GH ₁	GC ₁	GH ₂	GC ₂
Edad (años)	24.7 ± 3.2	26.8 ± 6.6	22.7 ± 3.4	35 ± 4.2
Peso (Kg)	76.1 ± 6.4	70.8 ± 8.3	76.2 ± 10.2	73.1 ± 9.8
Talla (cm)	177 ± 3.4	174.4 ± 7.1	178.7 ± 8.2	173.8 ± 8
MME (Kg)	36.6 ± 0.5	34.2 ± 3.4	37.4 ± 3.7	35.5 ± 4.7
VO ₂ max (ml/kg/min)	51.6 ± 12.5	62 ± 0.8	63.1 ± 4.5	56.9 ± 3.8

MME= Masa Músculo-Esquelética;

VO₂ max= Consumo Máximo de Oxígeno Relativo.

Variables:

Del test de VO₂max se obtuvo el VO₂max absoluto (ml/kg) y relativo (ml/kg/min), la frecuencia cardiaca máxima (ppm), el tiempo hasta la finalización del test (s), la potencia máxima desarrollada relativa al peso (W/kg), y la potencia en el VO₂max (w).

Del test de umbrales se analizó la potencia, la frecuencia cardiaca y la percepción de esfuerzo en el umbral anaeróbico (4mM/l).

Instrumentos:

Se utilizó un analizador de la composición corporal multifrecuencia a través de bioimpedancia eléctrica (BIA) Inbody 720 (Biospace, Seoul, Korea) para hallar las características antropométricas descriptivas de la muestra utilizada. Además, en el test de VO₂max se utilizó un analizador de gases CPX Ultima (Medical Graphics, St Paul, E.E.U.U.) integrado con un electrocardiógrafo Welch Alling



Cardioperfect (Welch Allyn Inc, Skaneateles Falls, E.E.U.U.) y un cicloergómetro Monark 839-E (Monark Exercise, Vansbro, Suecia). En el test de umbrales se utilizó este mismo cicloergómetro, junto con un analizador de lactato Dr Lange LP-20 (Bruno Lange, Alemania) y un pulsómetro Suunto team pack (Suunto Ov, Vantaa, Finlandia). Por último, para llevar a cabo el tratamiento se utilizó un simulador de altitud GO₂altitude (Biomedtech, Australia) para cuatro personas.

Procedimiento:

Una vez los sujetos fueron seleccionados, se realizó el calendario de pruebas, informando a cada sujeto del lugar, fecha, hora de cada prueba y su naturaleza. Posteriormente, se obtuvo su consentimiento informado, en un documento firmado por el director del proyecto y cada sujeto, al amparo de las directrices éticas dictadas en la declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial, para la investigación con seres humanos.

A continuación se realizó un test de composición corporal por bioimpedancia eléctrica, siguiendo las recomendaciones del Grupo Español de Cineantropometría (Alvero, et al. 2009). Posteriormente se llevo a cabo un test de VO₂max en cicloergómetro. La prueba consistió en un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento del deportista con un protocolo en rampa con incrementos de 50 w/min partiendo de una intensidad inicial de 100 w. Con anterioridad se había realizado un calentamiento de 5 min de duración a 75 w. La cadencia se controlaba a lo largo de todo el test, oscilando entre 90 y 105 rpm (Craig, et al. 2000). Al día siguiente se llevó a cabo el test de umbrales, que consistió en un esfuerzo progresivo hasta el agotamiento del deportista utilizando un protocolo en rampa con incrementos de 50 w cada 5 min partiendo de la intensidad de 50 w como calentamiento (Craig, et al. 2000).

Tras el pre-test se aplicó un tratamiento de hipoxia intermitente con una duración de 8 semanas, en las cuales el porcentaje de oxígeno del aire inspirado iba progresivamente disminuyendo y la duración de la sesión iba aumentando desde los 40 a los 60 min. Durante los dos meses, la frecuencia semanal del programa de hipoxia era de 4 días semanales repartidos en Lunes, Martes, Jueves y Viernes.

La saturación de oxígeno o factor de control de la carga interna del programa de hipoxia se ajustó en un ratio de 90 a 85%, disminuyendo progresivamente en el tiempo de duración del tratamiento. Durante la sesión, cuando la saturación de oxígeno disminuía por debajo del valor establecido, el sujeto debía retirarse la mascarilla de aplicación de aire hasta que su saturación volviera al rango de normalidad, ya que la carga de hipoxia era un estímulo excesivo para ese sujeto en ese momento. La saturación de oxígeno se monitorizaba a través de un pulsioxímetro colocado en el dedo índice de la mano derecha del participante.

Durante el tratamiento se utilizó el programa estándar de hipoxia intermitente, en el cual se intercalan intervalos de 5 min de duración de inspiración de aire hipóxico, con intervalos de similar duración de inhalación de aire normóxico (Hellemans, 1998).

Este programa de entrenamiento en altura duraba 8 semanas en las cuales se iba modificando el tiempo de la sesión, el porcentaje de oxígeno en el aire, y el porcentaje de saturación de oxígeno de acuerdo a la tabla 2.

Tabla 2: Protocolo de Hipoxia Intermitente.

Semana	Duración	%O ₂ Aire	% Saturación de O ₂
1	40	14	90
2	50	14	90
3	50	13,5	88
4	50	13	88
5	60	12,5	87
6	60	12	86
7	60	11,5	85
8	60	11	85

Duración (min). Porcentaje y saturación de O₂ (%).



Una vez finalizado el programa se volvió a realizar la batería de test con las pautas explicadas anteriormente.

Programa de entrenamiento realizado por los ciclistas:

El programa de la temporada del grupo estudiado estaba dividido en 2 macrociclos. El primer macrociclo tuvo una duración de 34 semanas mientras que el segundo se extendía durante 21 semanas en el tiempo. El estudio se llevó a cabo durante el primer macrociclo de la temporada, por lo que nos centraremos en este.

El modelo de planificación utilizado fue el paralelo-complejo, que utiliza cargas de entrenamiento regulares, también denominadas lineales o diluidas. Este modelo de planificación se considera tradicional o clásico y tiene su máximo exponente en Matveiev. La planificación se divide en un periodo preparatorio y un periodo competitivo. El entrenamiento llevado a cabo por los sujetos del estudio se encuadra en el periodo pre-competitivo del macrociclo I de la temporada, correspondiente a la fase invernal. En la Figura 1 se observa la planificación donde se contextualiza el estudio que se ha desarrollado en los mesociclos de perfeccionamiento III y pre-competición.

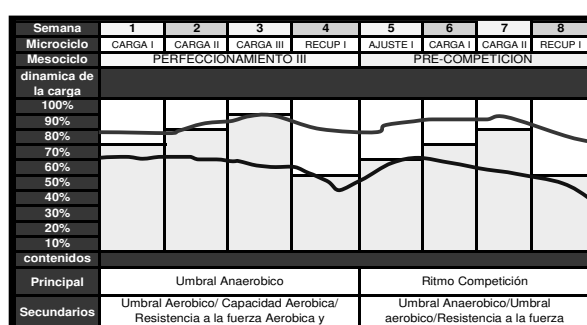


Figura 1: Planificación del periodo de entrenamiento donde se lleva a cabo el estudio.

Cada mesociclo ha estado compuesto de 4 microciclos. El mesociclo de perfeccionamiento III, cuyo objetivo principal era el desarrollo del Umbral Anaeróbico y que tenía como objetivos

secundarios el desarrollo del Umbral Aeróbico, la Capacidad Aeróbica y la Resistencia a la Fuerza Aeróbica, estaba formado por tres mesociclos de Carga y uno de Recuperación (C-C-C-R). Mientras que el mesociclo de pre-competición, cuyo objetivo principal era el trabajo del Ritmo de Competición, y que tenía como objetivos secundarios el mantenimiento del Umbral Anaeróbico y Aeróbico del deportista y el trabajo de Resistencia a la Fuerza Aeróbica, estaba compuesto por un microciclo de Ajuste, dos de Carga y uno de Recuperación. (A-C-C-R).

Cada sujeto entrenaba de forma individualizada en las zonas establecidas en los test iniciales mediante frecuencia cardiaca o bien mediante potencia.

La cuantificación de la carga de entrenamiento se llevó a cabo mediante TRIMPS (Training Impulse), en el cual se tenía en cuenta la duración y la intensidad del ejercicio expresándose cuantitativamente el nivel de carga realizado (Banister, 1991). Esta unidad ha sido utilizada para describir la carga de ejercicio de las distintas modalidades de etapas contrarreloj y en línea en las grandes vueltas por etapas del ciclismo profesional (Padilla, Mujika, Orbañanos y Angulo, 2000; Padilla, et al., 2001).

A los deportistas se les entregó un diario de entrenamiento donde anotaban todos los datos correspondientes a sus entrenamientos, tiempo empleado, datos medios y máximos recogidos por el pulsómetro o por el potenciómetro, sensaciones, así como las ayudas ergogénicas que ingerían cada día.

Técnicas de análisis de datos:

Para el análisis de los datos obtenidos en cada uno de los estudios se ha utilizado el paquete estadístico SPSS versión 17.0 para Windows. En primer lugar se hallaron los datos descriptivos de media, desviación estándar, máximo, mínimos y rangos de todas las variables estudiadas. Posteriormente se determinó la normalidad de las variables con la prueba de Shapiro



Wilk para muestras inferiores a $n=30$. A continuación, en las variables paramétricas, se realizó un análisis multifactorial (MANOVA), aplicando el post-hoc de Bonferroni, para determinar las diferencias intragrupo e intergrupo. Se utilizó una ANCOVA para determinar las diferencias intragrupo con el factor de la carga de entrenamiento aplicada.

Las pruebas estadísticas aplicadas en las variables no paramétricas consistieron en primer lugar en una prueba para muestras independientes U de Mann-Whitney para establecer las diferencias intergrupos antes del programa y otra al finalizar éste. Posteriormente se aplicó una prueba de Wilcoxon para 2 muestras relacionadas para analizar las diferencias intragrupo antes del tratamiento y otra, cuando finalizó éste.

El nivel de significación para todas las variables de estudio se estableció en $p<0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La hipoxia inducida produce beneficios fisiológicos tanto en deportistas (Stray-Gundersen, Chapman y Levine, 2001; Bonetti, et al. 2009; Katayama, Ishida y Iwasaki, 2009) como en sujetos activos (Mackenzie, Watt y Maxwell, 2008; Viscor, et al. 2009) y enfermos (Burtscher et al 2009; Del Pilar, 2006). Sin embargo otros estudios no obtienen las mismas conclusiones sobre la efectividad de este tipo de programas (Julian, et al., 2004; Karlsen, Madsen, Rolf y Stray-Gundersen, 2002; Katayama, Matsuo, Ishida, Mori y Miyamura, 2003). Desde el punto de vista fisiológico, tener un alto $VO_2\max$ es un factor que se relaciona con los deportes de resistencia. En nuestro estudio se observa un descenso en el $VO_2\max$ relativo (ml/kg/min) del 4.09 % en el GH_1 , de un 1.24% en el GC_1 y un 7.69 % en el GH_2 , mientras que existe un descenso significativo ($p<0.05$) del 12.94 % en el GC_2 (Figura 2). Los datos se pueden observar en la tabla 3. Esta menor potencia aeróbica concuerda con los resultados

Tabla 3: Valores de $VO_2\max$ y Frecuencia cardiaca máxima
Media \pm Desviación Estándar

		$VO_2\max$ (ml/min)	FcMax (ppm)
GH_1	Pre	3993.3 \pm 838.2	179 \pm 7
	Post	3830.3 \pm 4	184 \pm 8
GC_1	Pre	4151.3 \pm 465.6	183 \pm 10
	Post	4100 \pm 466.4	185 \pm 8
GH_2	Pre	4748.5 \pm 384.3	186 \pm 11
	Post	4383.3 \pm 345.1	183 \pm 9
GC_2	Pre	4125.8 \pm 442.2	179 \pm 8
	Post	3591.8 \pm 729.4	176 \pm 10

$VO_2\max$: Consumo máximo de oxígeno.
Fcmáx: Frecuencia cardiaca máxima.

obtenidos en los estudios de Buskirk, Kollias y Akers (1967), Hahn y Gore (2001) o Rodriguez et al (2003). Sin embargo, existen otros estudios en los que se produce un mantenimiento de este parámetro (Adams, Bernauer, Dill y Bomar, 1975; Jensen, Nielsen y Fiskestrand, 1993) o por el contrario, un aumento en la capacidad de captar, transportar y utilizar O_2 (Levine y Stray-Gundersen, 1997; Burtscher et al, 2004).

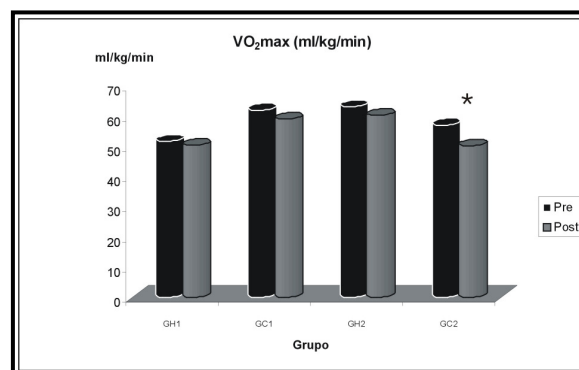


Figura 2: Consumo máximo de oxígeno

La falta de consenso entre todos los estudios se debe fundamentalmente a los protocolos de hipoxia utilizados o al estado de forma inicial de los participantes en la investigación (Hahn y Gore, 2001). Jensen, et al., (1993) afirman que los deportistas que empiezan el programa de hipoxia con un $VO_2\max$ bajo, aumentan los valores de éste, decreciendo o teniendo poco margen de mejora en deportistas con un alto valor inicial (Gore, Craig y Hahn, 1998; Ingjer y Myhre, 1992; Jensen, et al., 1993;



Svedenhag, Saltin, Johansson y Kaijser, 1991), Hahn y Gore, (2001) obtienen mejoras de un 0.3 %, por lo que nuestros resultados no están en concordancia con estos datos.

Las divergencias entre los diversos resultados obtenidos, también pueden atribuirse a la diferencia en las altitudes utilizadas como estímulo y a la diferencia en el tiempo de exposición utilizado en cada sesión. Autores como Katayama, et al., (2003) y Rodriguez, Ventura y Casas, (2000) afirman que el tiempo mínimo para que la sesión de hipoxia sea un estímulo que supere el umbral de adaptación y produzca una reacción aguda es de 90 min. Sin embargo existen estudios como el de Hellemans (1998) o Villa, et al., (2005) que con una aplicación de 60 min obtienen mejoras en el VO₂ max.

Además otro factor a considerar, es el tipo de ejercicio utilizado para determinar la potencia aeróbica máxima (VO₂max). En otros trabajos (Rodriguez, et al., 2000), ninguno de los participantes eran ciclistas ni utilizaban este deporte como parte de su actividad física regular. Esta falta de incremento en este parámetro se relaciona con la afirmación de autores como Consolazio, Nelson, Matoush y Hansen (1966), Hansen, Vogel y Stelter (1967), o Roskam, Landry y Samek (1969), que han observado un aumento del VO₂max en sujetos sedentarios. Por lo tanto la adaptación funcional desde el punto de vista aeróbico tras un programa de hipoxia en sujetos activos y ciclistas, necesita ser investigada, ya que la falta de un incremento significativo en el VO₂max se puede atribuir a la falta de un potencial oxidativo del músculo y a la falta de especificidad del test empleado (Rodriguez, et al., 2000).

Por otro lado, tras el programa de hipoxia, la potencia máxima generada en el test de VO₂max disminuye un 8.94% en el GC₁. A pesar de que disminuyen los valores de VO₂max, la potencia máxima generada en este test aumenta un 3.57% en el GH₁, un 3.36% en el GC₂ y un 6.78% en el GH₂

(Figura 3). Lo mismo sucede en la potencia relativa al peso y en el tiempo hasta el

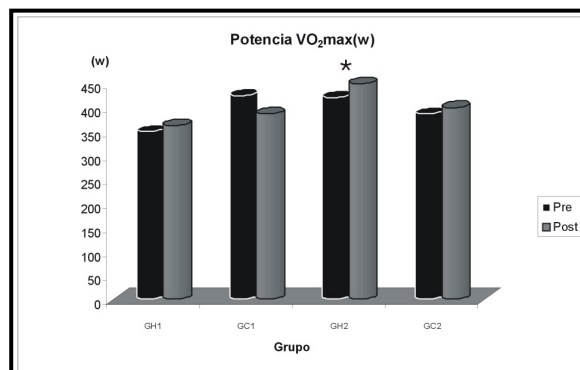


Figura 3: Potencia en VO₂max

agotamiento en el test de VO₂max, tal como se observa en la Tabla 4.

Estos datos, sugieren un aumento en la eficiencia de nuestros sujetos, aumentando el tiempo hasta el agotamiento y consumiendo menos oxígeno a una misma potencia durante el test, coincidiendo con los resultados obtenidos por otros autores (Katayama, et al., 2003; Truijens, et al., 2008).

Tabla 4: Valores del test de VO₂ max. Potencia (w), Potencia Relativa al peso (W/Kg) y Tiempo (s) Media ± Desviación Estándar

		Potencia VO ₂ max (w)	Potencia relativa (w/kg)	Tiempo Test (s)
GH ₁	Pre	350 ± 70.7	4.6 ± 0.9	631.8 ± 62.1
	Post	362.5 ± 25	4.7 ± 0.1	652.5 ± 36.6
GC ₁	Pre	425 ± 28.9	6 ± 0.4	702 ± 29.9
	Post	387 ± 25	5.5 ± 0.7	697.8 ± 25.8
GH ₂	Pre	421.43 ± 48.8	5.6 ± 0.4	778 ± 48.6
	Post	450 ± 40.8 (*)	6.2 ± 0.5 (*)	791 ± 47.1
GC ₂	Pre	387 ± 25	5.4 ± 0.4	707.8 ± 48.9
	Post	400 ± 40.8	5.6 ± 0.2	731 ± 33.5

Tiempo hasta el agotamiento y finalización del test (s).

Finalmente, los resultados del test de umbral láctico muestran un incremento del 12.28% en el GH₁ en la potencia generada en el umbral anaeróbico (4 mMol/l). En el GC₁ y GC₂ se mantiene este parámetro, mientras que disminuye un 9.83 % en el GH₂ (Figura 4). La frecuencia cardíaca en el umbral aumenta en el GC₁ (144 ± 11 a 148 ± 9) GH₁ (133 ± 14 a 147 ± 16) y GC₂



(150 ± 8 a 150 ± 12) y disminuye en el GH₂ (161 ± 14 a 149 ± 5). La escala de esfuerzo percibido en el umbral sufre una tendencia inversa, disminuyendo en el GH₂ y aumentando en los GC₁, GC₂ y GH₁ tal como observamos en la tabla 5.

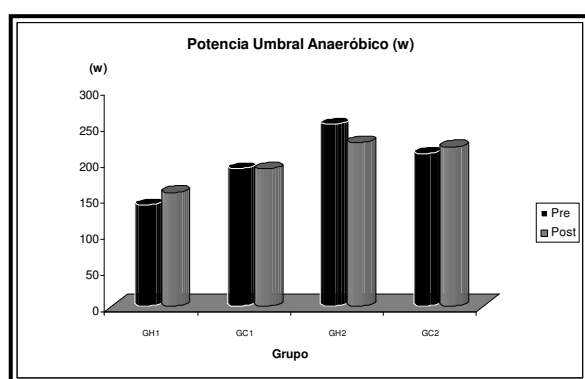


Figura 4: Potencia en el Umbral Anaeróbico (w)

Los datos obtenidos concuerdan con los estudios de Rodríguez, et al., (1999) y Rodríguez, et al., (2000) o Roberts, Butterfield, Cymermann, Reeves y Wolfel, (1996) donde se produce un aumento significativo de la potencia en el umbral anaeróbico y un aumento en el tiempo hasta el agotamiento.

Tabla 5: Frecuencia cardiaca en el umbral (ppm) y Escala de esfuerzo percibido. Media \pm Desviación Estándar

		Fc Umbral (ppm)	RPE
GH ₁	Pre	133 \pm 14	12.3 \pm 3.3
	Post	147 \pm 16	14.5 \pm 1
GC ₁	Pre	144 \pm 11	14.5 \pm 1.9
	Post	148 \pm 9	14.8 \pm 1.5
GH ₂	Pre	161 \pm 14	15 \pm 2.2
	Post	149 \pm 5	13.1 \pm 2.9
GC ₂	Pre	150 \pm 12	14.8 \pm 1.3
	Post	152 \pm 8	16 \pm 1.4

Fc Umbral: frecuencia cardiaca en el umbral (ppm). RPE: Escala de Esfuerzo percibido.

Por el contrario, también existen investigaciones previas donde este parámetro no se modifica (Bender, et al., 1988; Calbet, et al., 2003; Consolazio, et al., 1966; Wolfel, Groves y Brooks, 1991) o incluso tras un programa de hipoxia disminuye (Gore, et al., 2001; Katayama, et al., 2003; Lundby, Nielsen, y Dela, 2005). El trabajo de Katayama, et al., (2003) y el

de Gore, et al., (2001), están de acuerdo con el presente estudio, ya que se observa un incremento en el rendimiento de los participantes después del programa de hipoxia. Una explicación para los diversos resultados obtenidos puede atribuirse a la diferencia en las altitudes utilizadas como estímulo y al protocolo aplicado para determinar el umbral anaeróbico.

Por último observamos que no existen diferencias significativas intra ni intergrupo en el entrenamiento cuantificado en TRIMPS (GH₂ 13840.4 \pm 319.7 TRIMPS y GC₂ 13550.9 \pm 387.6 TRIMPS).

La incidencia del entrenamiento sobre el organismo del deportista no se ha tomado en consideración en los diferentes estudios con hipoxia. El sobreentrenamiento y el descenso de rendimiento persistente, con o sin el acompañamiento de otros síntomas psicológicos y físicos (Kreider, Fry y O'Toole, 1998), incide de forma directa en los sistemas funcionales del organismo, produciendo un descenso en el rendimiento del deportista (Czajkowski, 1982). Esto también origina un descenso en parámetros fisiológicos y una serie de cambios hormonales inducidos por el entrenamiento, y que a largo plazo pueden derivar en un descenso de la capacidad del organismo en la fijación de hierro, en sus niveles en sangre y en consecuencia en la producción de una anemia (Barbeau, Serresse, y Boulay, 1993). Esta afirmación nos hace pensar que los participantes de nuestro estudio pudieran sufrir un proceso de sobreentrenamiento que justificaría los valores obtenidos en los parámetros sanguíneos y fisiológicos.

Aunque parecen claramente descritas las vías de modulación y adaptación del sistema de transporte de oxígeno, estos cambios suelen ser siempre pequeños, ya que éste es un sistema que difícilmente sufre alteraciones y éstas requieren de un determinado tiempo para alcanzarse y estabilizarse. Es interesante destacar que la mejora en este sistema, no sólo afectará al rendimiento deportivo, sino que es igualmente favorable en los procesos de



recuperación de esfuerzos interválicos o sucesivos, así como para la asimilación de elevadas cargas de entrenamiento (Rodas, Parra, Sitja, Arteman y Viscor, 2004) a la vez que mejora la salud y calidad de vida de las personas que utilizan estos programas. La aplicabilidad de este tipo de programas de hipoxia intermitente se orienta a la preadaptación a altas altitudes de alpinistas y a la mejora del rendimiento y capacidad física tal como se ha observado en estudios previos (Burtscher, et al 2008; Rodríguez, et al., 1999; Rodríguez, et al., 2000), además de otra aplicación relacionada con la mejora de la condición física y la salud de sujetos sedentarios y activos.

CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los datos fisiológicos obtenidos en la muestra investigada, la aplicación de este programa de hipoxia intermitente produce estadísticamente un mantenimiento en el $VO_2\max$ en ambos estudios. Por otro lado, se mantiene la potencia generada en el umbral anaeróbico en el estudio de los ciclistas y sujetos activos. Esto indicaría que los sujetos mantienen su rendimiento en trabajos a intensidades donde no se acumula ácido láctico.

Finalmente, el entrenamiento exhaustivo y sistemático combinado con la exposición a hipoxia intermitente puede interferir de forma negativa sobre el organismo de los ciclistas, derivando en un proceso de sobrecarga o sobreentrenamiento y en sus respectivos síntomas.

Por último, para próximos estudios sería interesante orientar este tipo de programas a otras poblaciones, como pueden ser sujetos sedentarios o enfermos, para observar si este tipo de estímulos son un tratamiento efectivo desde el punto de vista de mejora de la salud.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Adams, W. C., Bernauer, E. M., Dill, D. B. y Bomar, J. B. (1975). Effects of equivalent sea level and altitude training on $VO_2\max$ and running performance. *J Appl Physiol*, 39, 262-266.
2. Alvero, J. R., Cabañas, M.D., Herrero, A., Martínez, L., Moreno, C., Manzañido, J., Sillero, M. y Sirvent J.E. (2009). Protocolo de valoración de la composición corporal para el reconocimiento médico-deportivo. Documento de consenso del grupo español de cineantropometría. *Arch Med Dep*, 26(131), 166-179.
3. Banister, E. W. (1991). Modeling elite athletic performance. In H. J. Green, J. D. McDougal y H. Wenger (Eds.), *Physiological testing of elite athletes*. (pp. 403-424): Champaign, IL. Human Kinetics.
4. Barbeau, P., Serresse, O. y Boulay, M. R. (1993). Using maximal and submaximal aerobic variables to monitor elite cyclist during a season. *Med Sci Sports Exerc*, 25(9), 1062-1069.
5. Bender, P. R., Groves, B. M., Huang, S. Y., Hamilton, A. J., Wagner, P. D. y Reeves, J. (1988). Oxygen transport to exercising leg in chronic hypoxia. *J Appl Physiol*, 65, 2592-2597.
6. Berglund, B. (1992). High-altitude training. Aspects of haematological adaptation. *Sports Med*, 14(5), 289-303.
7. Bernardi, L. (2001). *Interval hypoxic training*. New York: Plenum publisher.
8. Bonetti, D.L., Hopkins, W.G., Lowe, T.E., Boussana, A. y Kilding, A.E. (2009). Cycling performance following adaptation to two protocols of acutely intermittent hypoxia. *Int J Sports Physiol Perform*, 4, 68-83.
9. Bulgakova, N. J., Kovalev, N. V. y Volkov, N. I. (1999). Interval hypoxia training enhances effects of physical loads in swimming. Jyvaskyla.: University of Jyvaskyla.



10. Burtscher, M., Haider, T. y Domej, W. (2009). Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in patients at risk for or with mild COPD. *Respir Physiol Neurobiol*, 165: 97-103.
11. Burtscher, M., Pachinger, O., Ehrenbourg, I. y Mitterbauer, G. (2004). Intermittent hypoxia increases exercise tolerance in elderly men with and without coronary artery disease. *Int J Cardiol*, 96, 247-254.
12. Burtscher, M., Tsvetkova, A. M. y Tkatchouk, E., N. (1999). Beneficial effects of short term hypoxia. New York: Plenum Publisher.
13. Burtscher, M., Brandstatter, E., y Gatterer, H. (2008). Preacclimatization in simulated altitudes. *Sleep Breath*, 12. 109-114.
14. Buskirk, E. R., Kollias, J. y Akers, R. F. (1967). Maximal performance at altitude and on return from altitude in conditioned runners. *J Appl Physiol*, 23(2), 259-266.
15. Calbet, J. A., Boushel, R., Radegran, G., Sondergaard, H., Wagner, P. D. y Saltin, B. (2003). Why is VO₂max after altitude acclimatization still reduced despite normalization of arterial O₂ content? *Am J Physiol Regul Integr Physiol*, 284, 304-316.
16. Consolazio, C. f., Nelson, R. A., Matoush, L. O. y Hansen, J. E. (1966). Energy metabolism at high altitude. *J Appl Physiol*, 21, 1732-1740.
17. Craig, N. P., Norton, K. I. y Bourdon, P. C. (1993). Aerobic and anaerobic indices contributing to track endurance cycling performance. *Eur J Appl Physiol*, 67(2), 150-158.
18. Craig, N., Walsh, C., Martin, D., Woolford, S., Borudon, P. y Stanef, T. (2000). Protocols for the Physiological Assessment of High-Performance Track, Road and Mountain Cyclist. . In A. S. Commision (Ed.), Physiological test for elite athletes. Gore, C.: Human Kinectis.
19. Czajkowski, W. (1982). A simple method to control fatigue in endurance training,. In P. Komi, R. A. Nelson y C. Morehouse (Eds.), *Exerc Sport Biol*. (Vol. 12, pp. 207-212): Human Kinetics Publishers.
20. Del Pilar, M., García, F., Woolcott, O., Marticorena, J., Rodríguez, V., Gutiérrez, I., Fernández, L., Contreras, A., Valdivia, L, Robles, J. y Marticorena, E. (2006). Improvement of myocardial perfusion in coronary patients after intermittent hypobaric hypoxia. *J Nucl Cardiol*, 13. 69-74.
21. Dempsey, J. A. y Forster, H. V. (1982). Mediation of ventilatory adaptations. *Physiol Rev*, 62, 262-346.
22. Dempsey, J. A., Hanson, P. G. y Henderson, K. S. (1984). Exercise-induced arterial hypoxaemia in healthy human subjects at sea level. *J Physiol*, 355, 161-175.
23. Dempsey, J. A. y Wagner, P. D. (1999). Exercise-induced arterial hypoxemia. *J Appl Physiol*, 87, 1997-2006.
24. Fulco, C. S., Rock, P. B., y Cymerman, A. (1998). Maximal and submaxima exercise performance at altitude. *Aviat Space environ Med*, 69, 793-801.
25. Gore, C. J., Craig, N. P. y Hahn, A. G. (1998). Altitude training at 2690 does not increase total haemoglobin mass or sea level VO₂max in world champion track cyclists. *J Sci Med Sport*, 1, 156-170.
26. Gore, C. J., Hahn, A. G., Aughey, R., Martin, D., Ashenden, M. J., Clark, S. A. y Slater, G. J. (2001). Live high-train low increases muscle buffer capacity and submaximal cycling efficiency. *Acta Physiol Scand*, 173, 275-286.



27. Gore, C. J., Little, S. C. y Hahn, A. G. (1997). Reduced performance of male and female athletes at 580 m altitude. *Eur J Appl Physiol*, 75, 136-143.
28. Hahn, A y Gore, C. J. (2001). The effect of altitude on cycling performance. *Sport Med*, 31(7). 533-557.
29. Hansen, J. E., Vogel, J. A. y Stelter, G. P. (1967). Oxygen uptake in man during exhaustive work at sea level and high altitude. *J Appl Physiol*, 23(4), 511-522.
30. Hellemans, J. (1998). Intermittent Hypoxic Training, A Pilot Study. <http://www.elite-performance.org>.
31. Hochachka, P. W. (1998). Mechanism and evolution of hypoxia-tolerance in humans. *J Exp Biol*, 201, 1243-1254.
32. Ingjer, F y Myhre, K. (1992). Physiological effects of altitude training on elite male cross-country skiers. *J Sports Sci*, 10. 37-47.
33. Jensen, K., Nielsen, T. S. y Fiskestrand, A. (1993). High-altitude training does not increase maximal oxygen uptake or work capacity at sea level in rowers. *Scand J Med Sci in Sports*, 3, 256-262.
34. Julian, C. G., Gore, C. J., Wilber, R. L., Daniels, J. T., Fredericsson, M., Stray-Gundersen, J., Hahn, A., Parisotto, R. y Levine, B.D. (2004). Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners. *J Appl Physiol*, 96, 1800-1807.
35. Karlsen, T., Madsen, O., Rolf, S. y Stray-Gundersen, J. (2002). Effect of 3 weeks hypoxic interval training on sea-level cycling performance and haematological parameters. *Med Sci Sports Exerc*, 34(5), 224.
36. Katayama, K., Matsuo, H., Ishida, K., Mori, S. y Miyamura, M. (2003). Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. *High Alt Med Biol*, 4(3), 291-304.
37. Katayama, K., Ishida, K., Iwasaki, K. y Miyamura, M. (2009). Effect of two durations of short-term intermittent hypoxia on ventilatory chemosensitivity in humans. *Eur J Appl Physiol*, 105, 815-821.
38. Kellogg, R. H. (1978). La Pression barometrique: Paul Bert's hypoxia theory and its critics. *RespirPhysiol*, 34, 1-28.
39. Kolchinskaya, A., Zakussilo, M., Radziyevskiy, P., y Kozlov, S. (1998). Hypoxia: Destructive and Constructive Action: On mechanisms of interval hypoxic training efficiency. Kiev: Ukrainian National Academy of Sciences.
40. Korkushko, O., Pysaruk, A. V., Lyshnevs'ka, V., Asanov, E. y Chebotar, M. (2005). Age peculiarities of cardiorespiratory system reaction to hypoxia. *Fiziol Zh*, 51, 11-17.
41. Korkushko, O., Shatilo, V. y Ishchuk, V. (2007). Effects of intermittent hypoxia training on the resistance to hypoxia in elderly patients with essential hypertension. *Bull Hygiene Epidemiol*.
42. Kreider, R. B., Fry, A. C. y O'Toole, M. L. (1998). Overtraining and overreaching in sport: terms, definitions, and prevalence. *Overtraining in Sport*. (pp. VII-IX): Champaign, IL, Human Kinetics.
43. Levine, B y Stray-Gundersen, J. (1997). Living high training low: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Phys*, 83(1). 102-112.
44. Lundby, C., Nielsen, T. y Dela, F. (2005). The influence of intermittent altitude exposure to 4100 m on



- exercicy and blood capacity and blood variables. *Scand J Med and Sci Sports*, 15, 182-187.
45. Mackenzie, R., Watt, P. y Maxwell, N. (2008). Acute Normobaric Hypoxia Stimulates Erythropoietin Release. *High Alt Med Biol*, 9(1), 28-37.
 46. Mairbaur, H., Schobersberger, W., y Humpeler, H. (1986). Beneficial effects of exercising at moderate altitude on red cell oxygen transport and on exercise performance. *Pflugers Arch*, 406, 594-599.
 47. Padilla, S., Mujika, I., Orbañanos, J. y Angulo, F. (2000). Exercise intensity during competition time trials in professional road cycling. *Med. Sci Sports Exerc*, 32, 850-856.
 48. Padilla, S., Mujika, I., Orbañanos, J., Santisteban, J., Angulo, F. y Goirena, J. J. (2001). Exercise intensity and load during mass-start stage races in professional road cycling. *Med. Sci Sports Exerc*, 33, 796-802.
 49. Peacock, A. J. (1998). ABC of oxygen-Oxygen at high altitude. *Br Med J*, 317, 1063-1066.
 50. Peltonen, J., Tikkanen, H. y Rusko, H. (2001). Cardiorespiratory responses to exercise in acute hypoxia, hyperoxia and normoxia. *Eur J Appl Physiol*, 85, 82-88.
 51. Ponsot, E., Dufour, S., Zoll, J., Doutreleau, S., Geny, B., Hoppeler, H., Lampard, E. y Richard, R. (2005). Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. II. Improvement of mitochondrial properties in skeletal muscle. *J Appl Physiol*, 100, 1249-1257.
 52. Prabhakar, N. (2000). Oxygen sensing by the carotid body chemoreceptors. *J Appl Physiol*, 88, 2287-2295.
 53. Roberts, A. C., Butterfield, G., Cymermann, A., Reeves, J. y Wolfel, E. (1996). Acclimatization to 4.300 m altitude decreases reliance of fat as a substrate. *J Appl Physiol*, 81, 1762-1771.
 54. Rodas, G., Parra, J., Sitja, J., Arteman, J. y Viscor, G. (2004). Efecto de un programa combinado de entrenamiento físico e hipoxia hipobárica intermitente en la mejora del rendimiento físico de triatletas de alto nivel. *Apunts: Medcina de l'esport*, 144, 5-10.
 55. Rodriguez, F. A., Casas, H., y Casas, M. (1999). Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc*, 31, 264-268.
 56. Rodriguez, F. A., Murio, J. y Ventura, J. L. (2003). Effects of intermittent hypobaric hypoxia and altitude training on physiological and performance parameters in swimmers. *Med Sci Sports Exerc*, 35, 115.
 57. Rodriguez, F. A., Ventura, J. L. y Casas, M. (2000). Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol*, 82(3), 170-177.
 58. Roskam, H., Landry, F. y Samek, L. (1969). Effect of a standardized ergometer training program at three different altitudes. *Med Sci Sports Exerc*, 27, 840-847.
 59. Ross, R. M. y Jackson, A. S. (1990). Exercise concepts, calculations y computer applications. Indiana (U.S.A): Benchmark Press.
 60. Rusko, H., Tikkanen, H. y Peltonen, J. (2004). Altitude and endurance training. *J Sports Sci*, 22, 928-945.
 61. Sanchis-Gomar, F., Martínez-Bello, V., Domenech, E., Nascimento, A., Pallardo, F., Gomez Cabrera, M y Vina, J. (2009). Effect of intermittent hypoxia on haematological parameters after recombinant human erythropoietin administration. *Eur J Appl Physiol*, 107, 429-436.



62. Serebrovskaya, T., Karaban, I., Kolesnikova, E., Mishunina, T. y Swanson, R. (2000). Geriatric men at altitudes: hypoxic ventilatory sensitivity and blood dopamine changes. *Respiration*, 67, 253-260.
63. Serebrovskaya, T. V. (2002). Intermittent hypoxia research in the former soviet Union and the Commonwealth of independent states: history and review of the concept and selected applications. *High Alt Med Biol*, 3, 205-221.
64. Squires, R. W. y Buskirk, E. R. (1982). Aerobic capacity during acute exposure to simulated altitude, 914-2286 metres. *Med Sci Sports Exerc*, 14, 36-40.
65. Stray-Gundersen, J., Chapman, R. y Levine, B. (2001). "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol*, 91, 1113-1120.
66. Svedenhag, J., Saltin, B., Johansson, C. y Kaijser, L. (1991). Aerobic and anaerobic exercise capacities of elite middle-distance runners after two weeks of training at moderate altitude. *Scand J Med Sci Sports*, 1, 205-214.
67. Terrados, N., Mizuno, M. y Andersen, H. (1985). Reduction in maximal oxygen uptake at low altitudes: role of training status and lung function. *Clinical physiology*, 5(3), 75-79.
68. Truijens, M., Rodríguez, F. A., Townsend, N., Stray-Gundersen, J., Gore, C. J. y Levine, B. D. (2008). The effect of intermittent hypobaric hypoxic exposure and sea level training on submaximal economy in well-trained swimmers and runners. *J Appl Physiol*, 104, 328-337.
69. Villa, J. G., Lucía, A., Marroyo, J. A., Avila, C., Jiménez, F., García-López, J., Earnest, C. y Cordova, A. (2005). Does Intermittent Hypoxia Increase Erythropoiesis in Professional Cyclists During a 3-Week Race? *Can J Appl Physiol*, 30(1), 61-73.
70. Viscor, G., Javierre, C., Pagés, T., Ventura, J., Ricart, A., Martin-Henao, G., Azqueta, C y Segura, R. (2009). Combined intermittent hypoxia and surface muscle electrostimulation as a method to increase peripheral blood progenitor cell concentration. *J Translat Med*, 7, 91
71. Wagner, P. D. (2000). New ideas on limitations to VO₂max. *Exerc Sport Sci Rew*, 28, 10-14.
72. West, J. B. (1993). Acclimatization and tolerance to extreme altitude. *J Wilderness Med.*, 4, 17-26.
73. Wolfel, E. E., Groves, B. M. y Brooks, G. A. (1991). Oxygen transport during steady-state submaximal exercise in chronic hypoxia. *J Appl Physiol*, 70(3), 1129-1136.

