

Training at high altitude and for competition at altitude

Ginés Viscor



UNIVERSITAT DE BARCELONA



Objetivos

- ◆ A pesar de cierta controversia, actualmente hay claras evidencias de que las respuestas adaptativas frente a la hipoxia abren posibilidades de mejora en la capacidad física de deportistas a nivel del mar.
- ◆ Las ventajas en la preparación para competiciones en altura no ofrecen tantas dudas.
- ◆ Esta presentación tiene por objeto revisar los métodos y estrategias usados hoy día para mejorar la capacidad física por medio de exposición intermitente a hipoxia.
- ◆ Compararemos y discutiremos los resultados disponibles en la literatura para intentar dilucidar las características de los programas efectivos.

Origen

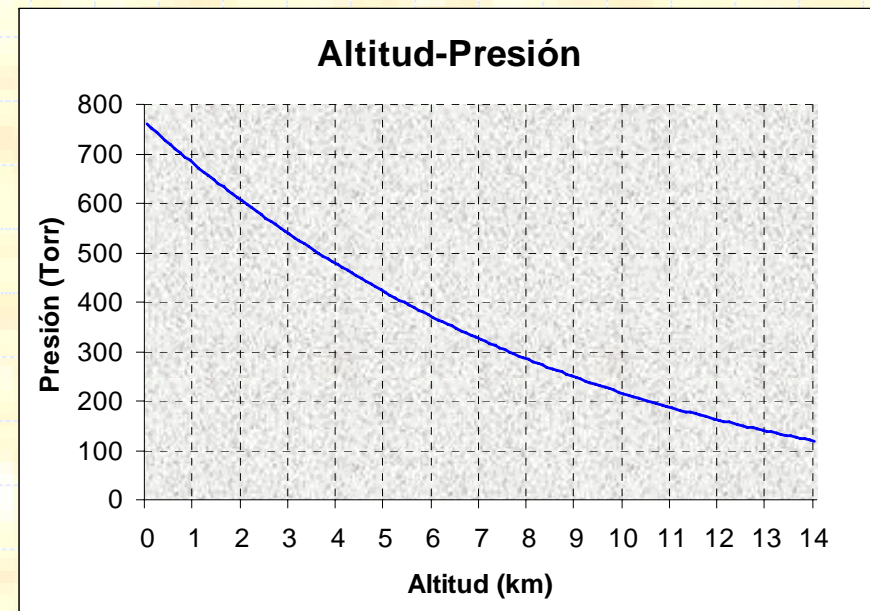
- ◆ Los JJ. OO. de 1968 en la ciudad de México (2227m) marcaron el inicio de la investigación sistemática de los efectos de la altitud en el rendimiento deportivo y de las posibilidades del entrenamiento en hipoxia con objeto de mejorar la capacidad de rendimiento físico en altitud y a nivel del mar.



Bob Beamon volando hacia la gloria de los 8,90m

Ejercicio en altitud

- ◆ El principal problema deviene de la hipoxia ($\downarrow pO_2$) causada por el descenso en la presión atmosférica (hipobaria).



- ◆ En condiciones naturales además:



- ◆ \downarrow temperatura (hipotermia)
- ◆ \downarrow humedad relativa (deshidratación)
- ◆ \downarrow densidad y viscosidad del aire (fonación, movimiento)
- ◆ \uparrow Radiación solar: IR, visible y UV, (pigmentación, quemaduras)
- ◆ \uparrow Radiación cósmica (melanomas)

Estado actual

- ◆ Los beneficios en atletas de élite son todavía objeto de controversia, sin embargo:
- ◆ Se han creado centros de entrenamiento en altura en muchos países: USA, Francia, España...
 - ◆ Inconvenientes propios de zonas de montaña: comunicaciones y logística.
 - ◆ Problemas médicos, técnicos y psicológicos derivados del aislamiento social.
 - ◆ Alto coste económico de la concentración.
- ◆ Se han investigado métodos alternativos de tipo artificial:
 - ◆ Cámaras hipobáricas o de baja presión
 - ◆ Sistemas hipóxicos normobáricos

Estrategias de exposición

◆ HIPOXIA CONTINUA:

- ◆ Residencia permanente en altitud
 - ◆ Similar a una concentración normal
 - ◆ Volumen y carga de entrenamiento limitados por la hipoxia

◆ HIPOXIA INTERMITENTE:

- ◆ Inducir el estímulo hipóxico,
 - ◆ Disparo de EPO y cambios eritropoyesis
 - ◆ Ajustes cardiorespiratorios
 - ◆ Alteraciones periféricas (capilares, mitocondrias, enzimas)
- ◆ pero entrenando a baja altura
 - ◆ Mayores cargas de trabajo
 - ◆ Menor alteración en la vida diaria de los atletas

Hipoxia continua o "crónica"

- ◆ Residencia y entrenamiento en altitud: "LH-TH"
 - ◆ Altitud moderada (2.000m-2.500m)
 - ◆ Efectos deletéreos potenciales sobre músculo y peso corporal
 - ◆ Limitación temporal de la estancia



Centro de Alto Rendimiento deportivo de Sierra Nevada (2320m, Granada, España)

¿Qué es hipoxia intermitente?

- ◆ El término “hipoxia intermitente” se usa de modo muy amplio y se puede aplicar a condiciones fisiológicas diferentes con intensidad y duración variables:

- Expediciones alpinistas clásicas y “trekking” de montaña.

- Esquí extremo, y otras modernas actividades de riesgo a moderada o gran altitud.

- Protocolos de preaclimatación.

- Apnea del sueño.

- Vuelos de larga duración.

- Trabajo alterno en altura.

- Futuras misiones extraplanetarias.



Tipos de HI con aplicación deportiva

- ◆ Natural: residencia o entrenamiento alternos en altitud
 - ◆ Habitación en altura y entrenamiento a menor cota: “Living High - Training Low” (LH-TL). Muy popular en los últimos años
 - ◆ Habitación a nivel del mar o baja altitud y entrenamiento en altura: “Training High – Living Low” (TH-LL) No se suele realizar pero hay quien lo aplica con HI artificial.

- ◆ Artificial: sistemas desarrollados como alternativas
 - ◆ Normobárica: Sistemas hipóxicos
 - ◆ Hipobárica: Cámaras de baja presión (vacío relativo)

Hipoxia normobárica

- ◆ Denominamos hipoxia normobárica a la caída en pO_2 por reducción de la concentración de este gas en la mezcla inspirada.
- ◆ No supone un cambio en la presión barométrica
- ◆ Sistemas hipóxicos:
 - ◆ Mezclas de gases hipóxicos (cilindros convencionales)
 - ◆ Dispositivos respiratorios hipóxicos (máscaras)
 - ◆ Instalaciones o “tiendas” hipóxicas



Hipoxia hipobárica (altitud)

- ◆ Denominamos hipoxia hipobárica a la caída en pO_2 asociada a la reducción en la presión barométrica.
- ◆ Está acompañada de:
 - ◆ Menor densidad y viscosidad del aire (trabajo ventilatorio)
 - ◆ Presión global reducida (retorno venoso)
- ◆ Altitud simulada: Cámara hipobárica (vacío relativo)
 - ◆ Uso médico-militar
 - ◆ Uso médico-laboral
 - ◆ Uso médico-deportivo



Métodos hipóxicos utilizados en deporte

Method	Physical principle	Type of hypoxia	Facilities / Common strategies ^a
Moderate to high altitude	Natural reduction of atmospheric and O ₂ pressure (↓PO ₂)	Hypobaric, continuous or intermittent	Altitude resorts in mountains Continuous or intermittent sojourns at altitude (LH-TH, LH-TL, LL-TH)
Hypobaric chamber	Artificial reduction of atmospheric and O ₂ pressure (↓PO ₂)	Hypobaric, intermittent	Hypobaric chambers (decompression or low pressure chambers) Intermittent exposure, passive (LH-TL) or combined with training (LL-TH)
Hypoxic gas mixtures	Artificially decreased O ₂ concentration in inspired air (↓F _I O ₂)	Normobaric, intermittent	Hypoxic gas mixture (cylinders) Intermittent exposure, usually with training (LL-TH)
Hypoxic houses, portable chambers and tents	Artificial ↓F _I O ₂ by N ₂ addition to atmospheric air	Normobaric, intermittent	Houses, portable chambers or tents with external N ₂ addition to atmospheric air Intermittent exposure, usually during sleep or resting time (LH-TL)
Respiratory hypoxic devices	Artificial ↓F _I O ₂ by O ₂ -filtering membranes in atmospheric air	Normobaric, intermittent	Portable respiratory devices (with breathing masks) producing a hypoxic gas mixture Intermittent exposure, usually combined with training (LL-TH)

^a L= live; T = train; H = high; L = low (e.g. "Live High-Train Low" = LH-TL)

Rodriguez FA (2002) Am J Med Sports 4:385-391

Efectos fisiológicos de la HI

- ◆ Aclimatación temprana a altitud
 - ◆ Ventilación
 - ◆ SatO₂ arterial
- ◆ Respuesta hematológica
 - ◆ EPO
 - ◆ Eritropoyesis: Hb – Reticulocitos – RBC – PCV
- ◆ Rendimiento físico y capacidad aeróbica
 - ◆ Tolerancia al esfuerzo (duración e intensidad)
 - ◆ Umbrales ventilatorio y láctico
 - ◆ Vo₂ máximo

Parámetros implicados

◆ “Dosificación”

- ◆ Altitud simulada
- ◆ Duración de cada exposición aguda (sesión HI)
- ◆ Número y días de sesiones
- ◆ Exposición pasiva o con ejercicio hipóxico

◆ Estatus de los sujetos

- ◆ Estado clínico y fisiológico previo
- ◆ Nivel de entrenamiento inicial
- ◆ Carga y volumen de entrenamiento simultáneo a HI

⇒ La heterogeneidad que resulta de la combinación de todos estos factores ofrece una gran complejidad de análisis de los resultados

Entrenamiento en altitud y rendimiento a nivel del mar

- ◆ Beneficios potenciales de la altitud en contraposición con la reducción de la carga de trabajo en entrenamiento
- ◆ En estudios con grupos control y diseño experimental adecuado pocas veces se ha demostrado ventaja entre vivir y entrenar en altura frente a hacerlo a nivel del mar

Entrenamiento en altitud y rendimiento a nivel del mar

- ◆ En un enfoque más reciente (“live high – train low”) corredores que habitaron a 2500m y entrenaron a 1250m durante 4 semanas mejoraron su rendimiento a nivel del mar (variabilidad individual: “responders”)
- ◆ Los sujetos que respondieron mejor al programa LH-TL mostraron la mayor respuesta eritropoyética, con aumento de VO_2max proporcional al aumento de Hct

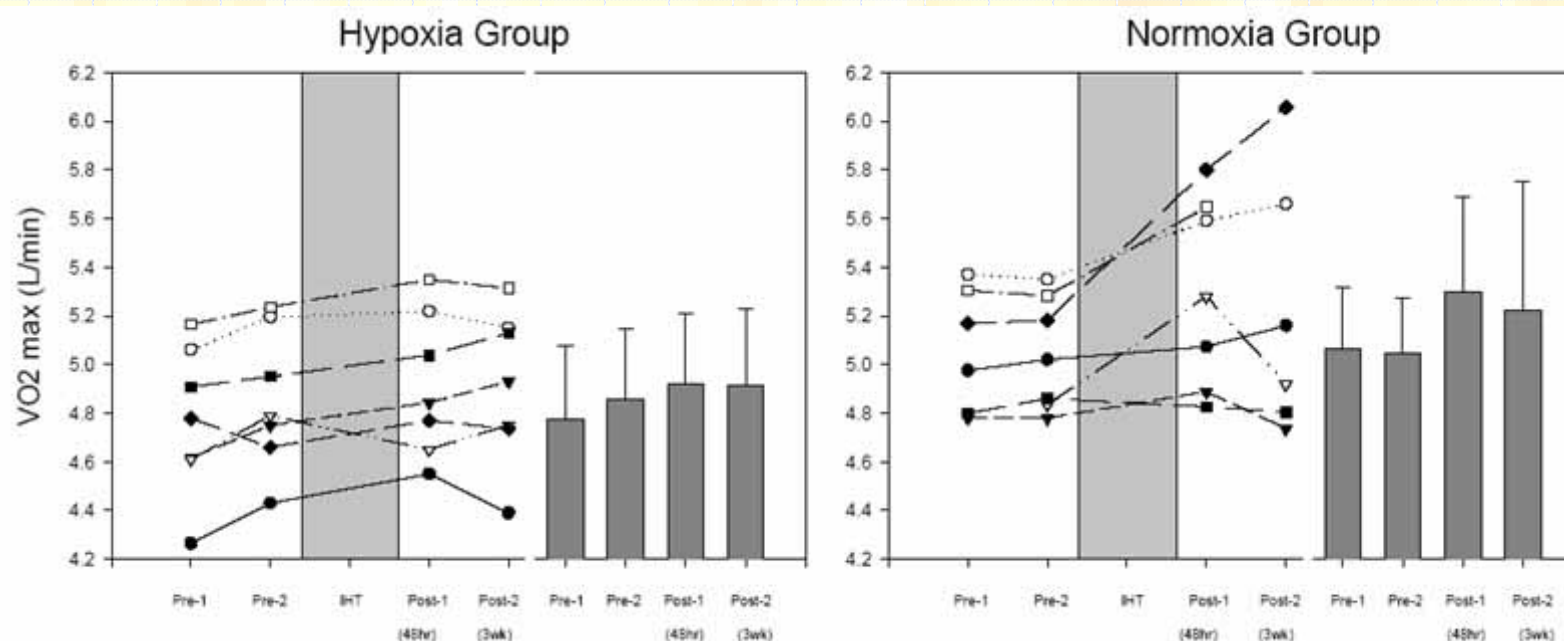
*Chapman RF, Stray-Gundersen J, Levine BD (1998). J Appl Physiol 85: 1448-1456.
Levine BD, Stray-Gundersen J (1997). J Appl Physiol 83: 102-112*

HI normobárica: sistemas hipóxicos

- ◆ Estudios basados en el paradigma LH-TL
 - ◆ Especialidades de fondo (*triatletas, esquiadores, corredores, ciclistas*)
 - ◆ Hipoxia equivalente a 2000-3000m de altitud
 - ◆ Entre 8-18h diarias
 - ◆ Entrenamiento a <600m
- ◆ Resultados de 12 estudios (*Escandinavia y Australia*):
 - ◆ Sin cambios hematológicos (EPO-RBC-Hb)
 - ◆ Sólo 1 estudio demostró ΔV_{O_2max} de 3%
 - ◆ 2 estudios más hallaron mejoras significativas en 400m natación y 40km ciclismo

HI normobárica: sistemas hipóxicos

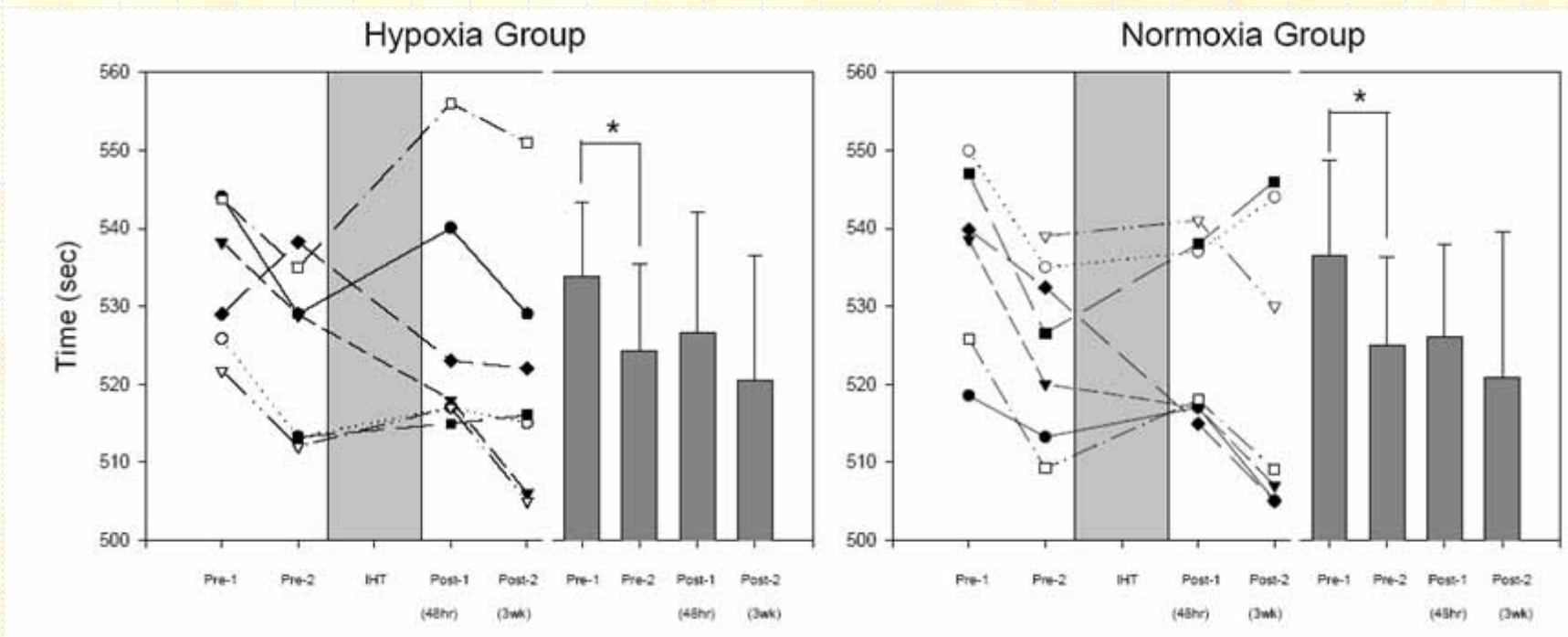
- ◆ Un estudio reciente no pudo demostrar la eficiencia de esta estrategia para incrementar $\text{Vo}_2 \text{ max}$
 - ◆ 14 corredores de alto nivel (placebo vs hipoxia) 5:5 minutos (hipoxia:normoxia) durante 70 minutos, 5 veces por semana
 - ◆ FIO_2 (sem1: = 0.12, sem2: = 0.11, sem3 y sem4: = 0.10)



Julian CG, Gore CJ, Wilber RL, Daniels JT, Fredericson M, Stray-Gundersen J, Hahn AG, Parisotto R, Levine BD (2004) J Appl Physiol 96:1800-1807.

HI normobárica: sistemas hipóxicos

- ◆ Ni mejora en el tiempo de prueba para 3000m...
- ◆ 14 corredores de alto nivel (control vs hipoxia) 5:5 minutos (hipoxia:normoxia) durante 70 minutos, 5 veces por semana
- ◆ FIO_2 (sem1: = 0.12, sem2: = 0.11, sem3 y sem4: = 0.10)



Julian CG, Gore CJ, Wilber RL, Daniels JT, Fredericson M, Stray-Gundersen J, Hahn AG, Parisotto R, Levine BD (2004) J Appl Physiol 96:1800-1807.

HI hipobárica: exposición breve repetida

- ◆ El uso de la cámara hipobárica se basa en la observación previa de que un estímulo breve es capaz de inducir la secreción de EPO.
- ◆ La repetición programada de dicho estímulo sería, de acuerdo con la teoría del entrenamiento, capaz de estimular las vías dependientes de HIF y en última instancia afectaría a la capacidad aeróbica.

HI hipobárica: Objetivos

- ◆ Comprobar la eficacia de la hipoxia hipobárica intermitente para desencadenar respuestas de aclimatación
- ◆ Hallar el nivel óptimo de hipoxia (altitud simulada y duración de sesiones), de modo que puedan diseñarse programas con una mínima interferencia con la actividad normal de los sujetos.



HI hipobárica: Métodos

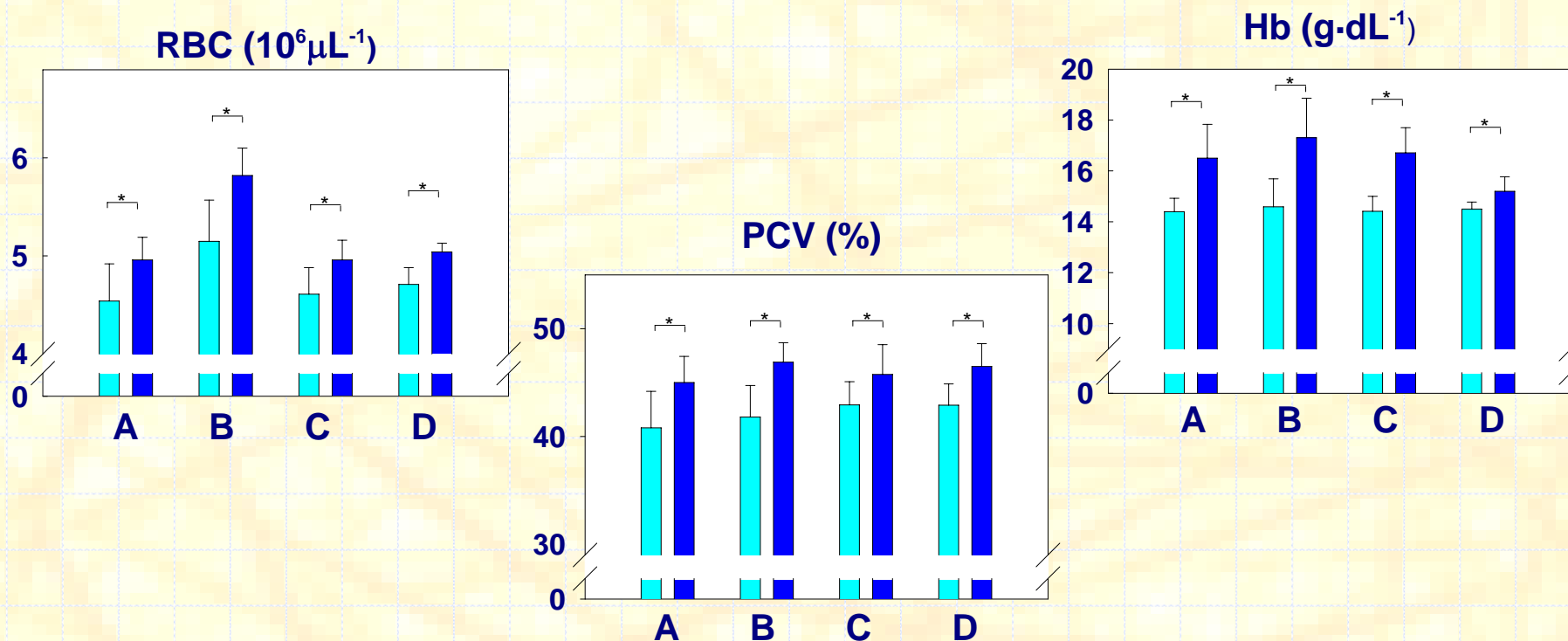
- ◆ Se han aplicado varios protocolos de exposición intermitente a hipoxia hipobárica con intensidad y duración variables.



Protocolo	Sujetos	Aclimatación	Sesiones	Horas		Altitud m
		(días)		por día	total	
A	6	17	17	3-5	60	4,000-5,500
B	17	9	9	3-5	31	4,000-5,500
C	8	21	9	1.5	14	4,000-5,500
D	6	22	10	3	30	4,000-5,500

HI hipobárica: Resultados

- Efectos sobre la serie roja al finalizar los programas de exposición intermitente a hipoxia hipobárica: un significativo incremento en PCV, RBC y [Hb] en todos y cada uno de los distintos protocolos.



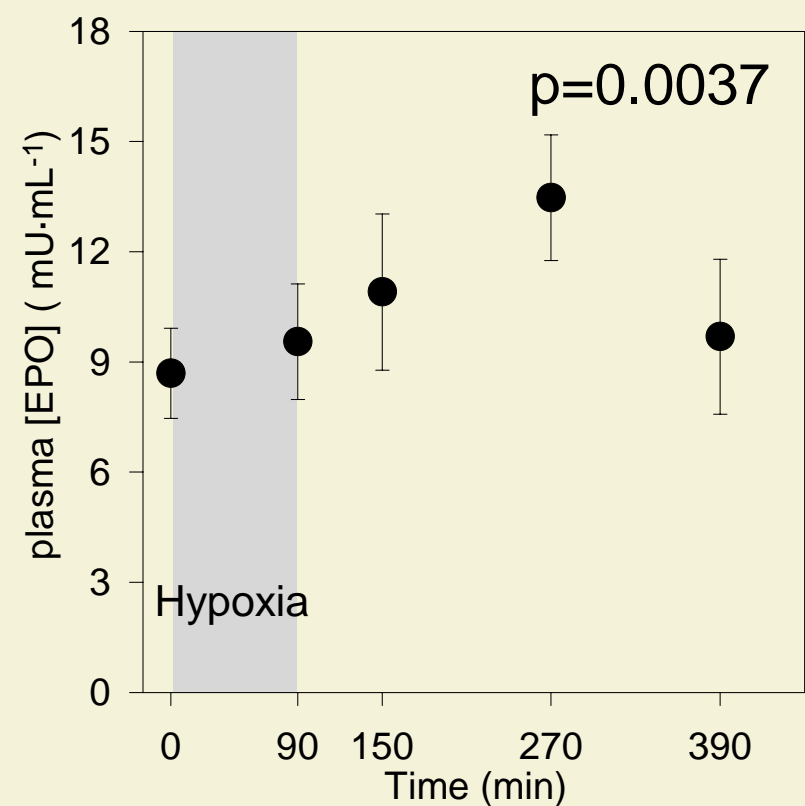
HI hipobárica: Resultados

- ◆ Aumento significativo del recuento de reticulocitos en todos los casos estudiados (entre un +120% y un +180%).
- ◆ No se observó cambio significativo alguno en la osmolalidad plasmática, lo que permite descartar la posibilidad de hemoconcentración.



HI hipobárica: Resultados

- ◆ Descarga aguda de EPO inducida por la exposición a hipoxia hipobárica



HI hipobárica: Resultados

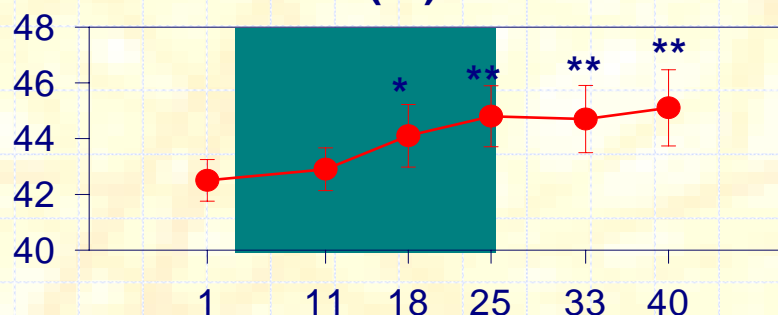
- Evolución de los parámetros hematológicos a lo largo de un programa de aclimatación.

Baseline Data
sea level

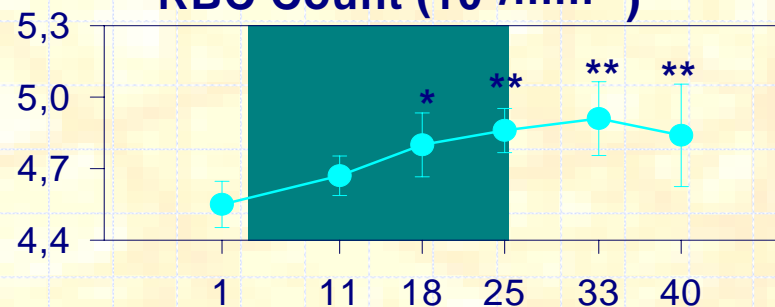
Intermittent exposure
to hypobaria program

Recovery
(Sea level)

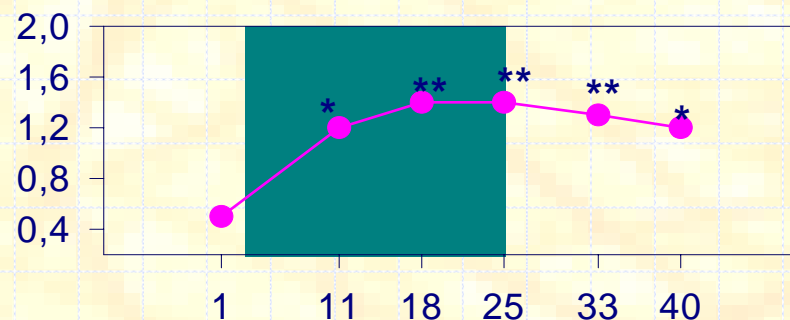
Hematocrit (%)



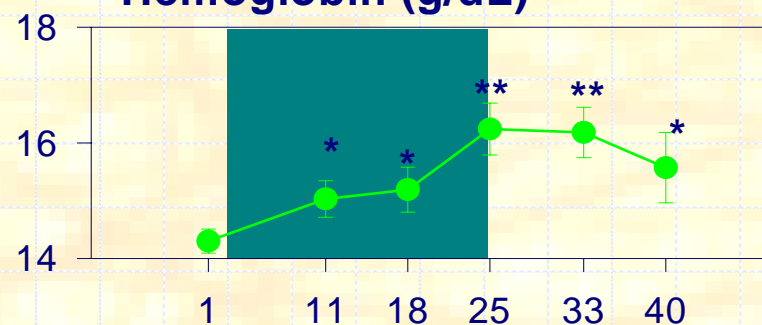
RBC Count ($10^6/\text{mm}^3$)



Reticulocytes (%)

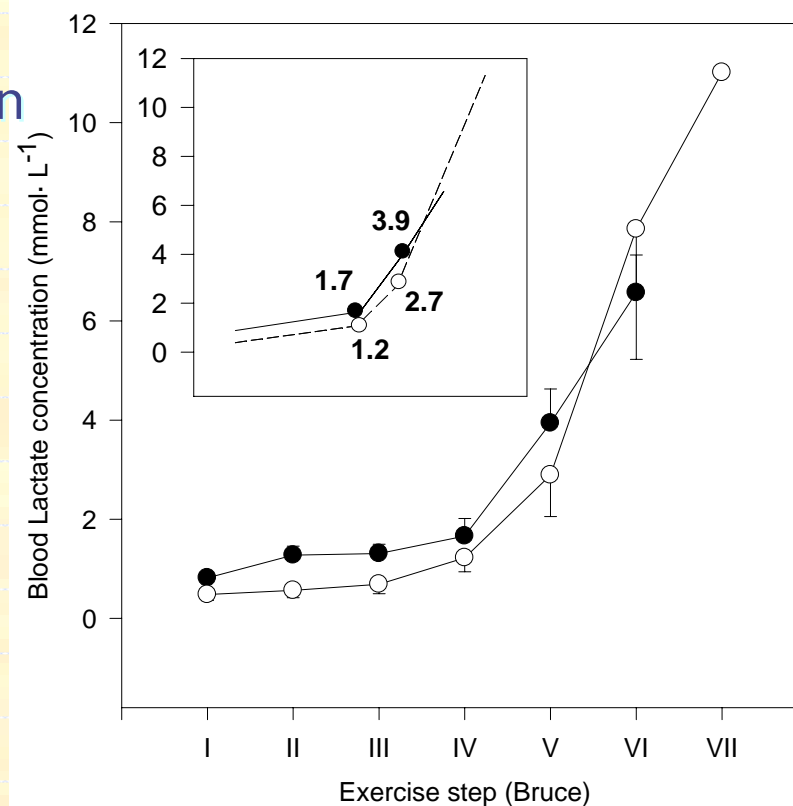


Hemoglobin (g/dL)



HI hipobárica: Resultados

- ◆ Mejora de la capacidad aeróbica a nivel del mar después del programa de HI.
- ◆ Aumento del consumo máximo de oxígeno y del tiempo de esfuerzo en prueba escalonada máxima.
- ◆ Desplazamiento significativo a la derecha del umbral anaeróbico



HI hipobárica: Resultados



- ◆ Durante ejercicio en hipoxia (5.000m) hemos encontrado un incremento significativo del 22% en la ventilación VEM:
 - ◆ Hombres: 34% (n= 72)
 - ◆ Mujeres: 3% (n=39)
- ◆ El cambio en la VEM se debe al aumento en V_T
- ◆ Disminución no significativa en FR
- ◆ Aumento en SatO_2 arterial

HI hipobárica: Observaciones

- ◆ La exposición intermitente es un estímulo eficaz para desencadenar las repuestas adaptativas de aclimatación a la altitud

- ◆ Además permite soslayar los inconvenientes de la permanencia continua en altura:
 - ◆ Menor volumen y carga de entrenamiento posible
 - ◆ Pérdida de masa muscular
 - ◆ Mayores dificultades logísticas
 - ◆ Más coste económico



Conclusiones HI hipobárica

- ◆ Todos los diferentes protocolos fueron capaces de desencadenar repuestas hematológicas adaptativas.
- ◆ Los datos obtenidos indican que la hipoxia intermitente es eficaz incluso con modelos de exposición breves limitados por cuestiones organizativas.
- ◆ La disponibilidad de tiempo de los sujetos y su capacidad de desplazamiento pueden ser los factores determinantes en la elección del tipo de protocolo a aplicar.



Entrenamiento y HI: Resultados

	Sea-Level Training		Hypoxic training
	Normobaric IH 12-18 h/d, 10-25 d 2,000-3,000 m	Hypobaric IH 1.5-5 h/d, 9-21 d 4,000-5,500 m	Hypobaric IH 1-2 h/d, 9-21 d 2,300-5,500 m
Plasma EPO	↑	↑↑	?
Reticulocytes	↑=	↑↑=	↑=
PCV (Htc)	↑=	↑	↑=
[Hb]	=	↑	↑=
Red cell mass	↑=	?	?
VO ₂ max	=	↑=	=
Anaerobic threshold	?	↑	↑=
Anaerobic power/capacity	?	?	↑
SLPost-altitude performance	=↑	↑=	↑=
Remarks	LH-TL model Time/hypoxia/training level gradients?	LH-TL model Time/hypoxia/training level gradients?	LL-TH model Training volume & intensity reduced

↑: Increase; =: No change; ?: Not reported

Rodriguez FA (2002) Am J Med Sports 4:385-391

Conclusiones

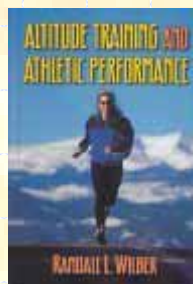
- ◆ Los efectos de la HI sobre el rendimiento no son concluyentes para cualquier método y estrategia investigados hasta el momento, quizá debido a diferencias en los métodos de valoración, en la “dosis” del estímulo hipóxico, en el grado de entrenamiento y nivel de rendimiento de los sujetos estudiados y en su respuesta individual al estímulo hipóxico.
- ◆ Se precisan nuevos estudios de las adaptaciones fisiológicas subyacentes y afinar las estrategias dosis-respuesta óptimas para deportistas de alto nivel.
- ◆ La mayoría de los efectos potenciales que prometen las marcas que comercializan aparatos o instalaciones hipóxicas no han sido corroborados en estudios científicos sólidos.

Conclusiones

- ◆ No obstante, la evidencia que va acumulándose mejora nuestra comprensión de los mecanismos fisiológicos de respuesta y los efectos de la HI y abre nuevas posibilidades para su uso en el deporte de competición.
- ◆ Si la hipoxia intermitente es o no una alternativa válida al entrenamiento en altitud convencional, e incluso si dicho entrenamiento es efectivo como medio de preparación para la competición a nivel del mar, son cuestiones que permanecen por aclarar.

Bibliografía recomendada

◆ Libros



Altitude Training and
Athletic Performance

by Randall L. Wilber

ISBN: 0736001573

◆ Artículos

- 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. *Br J Sports Med.* 39:148-53.
- Julian CG, Gore CJ, Wilber RL, Daniels JT, Fredericson M, Stray-Gundersen J, Hahn AG, Parisotto R, Levine BD (2004) Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners. *J Appl Physiol* 96:1800-1807.
- Katayama K, Matsuo H, Ishida K, Mori S, Miyamura M. (2003) Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. *High Alt Med Biol* 4:291-304
- Julian CG, Gore CJ, Wilber RL, Daniels JT, Fredericson M, Stray-Gundersen J, Hahn AG, Parisotto R, Levine BD. (2004) Intermittent normobaric hypoxia does not alter performance or erythropoietic markers in highly trained distance runners. *J Appl Physiol* 96:1800–1807.
- Levine BD, Stray-Gundersen J (1997). "Living high-training-low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 83:102-112.
- Powell FL, Garcia N (2000) Physiological effects of intermittent hypoxia. *High Alt Med Biol* 1:125-136.
- Rodríguez FA, Casas H, Casas M, Pagès T, Rama R, Ricart A, Ventura JL, Ibáñez J, Viscor G (1999) Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc* 31:264-268.
- Rodríguez FA, Ventura JL, Casas M, Casas H, Pagés T, Rama R, Ricart A, Palacios L, Viscor G (2000) Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol* 82:170-177.
- Saunders PU, Telford RD, Pyne DB, Cunningham RB, Gore CJ, Hahn AG, Hawley JA. (2004) Improved running economy in elite runners after 20 days of simulated moderate-altitude exposure. *J Appl Physiol* 96:931-937.
- Stray-Gundersen J, Chapman RF, Levine BD (2001). "Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol* 91:1113-1120.
- Wilber RL (2001). Current trends in altitude training. *Sports Med* 31:249-265.