



HIPOXIA

Control del entrenamiento en ejercicio

El entrenamiento de hipoxia en ejercicio o IHT (*intermittent hypoxia training*) es posiblemente el método menos utilizado debido a las controversias que ha mostrado la investigación en la mejora del rendimiento deportivo. Parte de estos resultados negativos son debidos a centrarnos exclusivamente en mejoras hematológicas y del $\text{VO}_2\text{máx}$, en las que tenemos sistemas más eficientes. Pero otras veces es porque la forma de controlar los entrenamientos en hipoxia a nivel interno se deja al azar. Monitorizar la carga interna será imprescindible, tanto a nivel sistémico (SpO_2) como a nivel muscular (SmO_2), para conseguir el éxito y sacar todo el partido a este método de entrenamiento.

El entrenamiento en condiciones de hipoxia o concepto LLTH (vivir abajo entrenar arriba) lleva utilizándose varias décadas con dos objetivos, mejorar el rendimiento y aclimatación para competiciones en altura. Es un método fácil de implementar en la planificación del entrenamiento y permite conseguir buenos resultados en un tiempo reducido. Hay dos posibilidades, la hipoxia intermitente en reposo (IHE) y la hipoxia intermitente en ejercicio (IHT). En el artículo nos centraremos en las mejoras de rendimiento a nivel del mar, no de adaptación a la altura y el método realizado durante el ejercicio (IHT).

Beneficios del IHT

Si nuestro único objetivo es incrementar los parámetros hematológicos, no es la mejor opción, ya que en muchas investigaciones no se han mostrado cambios en hematocrito o hemoglobina (Millet, 2013). Este puede suponer el parámetro estrella cuando hablamos de entrenamiento en hipoxia y por eso genera dudas en cuanto a sus beneficios.

Sin embargo, la carencia de oxígeno conduce a procesos adaptativos en el tejido muscular y estos son los principales beneficios demostrados que implican mejoras en el rendimiento (Vogt y Hoppler, 2010):

1. Capacidad oxidativa: El entrenamiento en hipoxia provoca una mayor eficiencia

de la cadena respiratoria, permitiendo utilizar una menor cantidad de ATP y de oxígeno para la misma intensidad relativa, lo que supone reducciones de VO_2 a intensidades submáximas. Esta cualidad permite mejoras en la economía (Mukai, 2021).

2. Oxidación de grasas: La capacidad de oxidación de grasas se incrementa, con una disminución de RER (Camacho-Cadenosa, 2020), esto puede suponer una gran ventaja en ahorro de glucógeno muscular para pruebas de larga duración.

3. Capacidad glucolítica: Se producen mejoras en la capacidad anaeróbica debido a incrementos en la actividad de enzimas glucolíticas y mejoras en la regulación del pH (Czuba, 2017).

4. Capilarización: La densidad o número de capilares es regulada por el gen VEGF que es estimulado principalmente por una disminución de presión intracelular de O_2 (Breen, 2008). Esto implica que se produzca fundamentalmente en la musculatura

que se está ejercitando y es necesaria una especialización del ejercicio.

5. Mioglobina: La mioglobina es una molécula de unión de oxígeno intramuscular que funciona de manera muy similar a la hemoglobina. Terrados y col. (1990) demostraron que tras realizar entrenamiento a una pierna en cámara de hipoxia a 2.300m y mientras la otra pierna lo hacía a nivel del mar, se conseguía aumentar el tiempo hasta la fatiga de manera significativa. Además, aumentaba la concentración de mioglobina en la pierna entrenada en hipoxia, pero no en la de nivel del mar.

¿Mayor estímulo de hipoxia o intensidad de ejercicio?

Los beneficios son dependientes de las condiciones de hipoxia, pero también serán más elevados si se realizan con alta intensidad. Por ejemplo, en el estudio realizado por Vogt y col. (2001) se comparaban cuatro grupos de entrenamiento, dos en condiciones de hipoxia normobárica (correspondiente a 3.850m) otros dos de normoxia, y en cada uno de ellos opción de baja intensidad (2-3mM de lactato) o de alta intensidad (4-6mM). Las concentraciones de HIF-1 eran muy similares en ambas condiciones de hipoxia, alta intensidad con incremento de 82,4% y en baja intensidad un 78,4%. Sin embargo, el incremento de contenido de ARNm de mioglobina (+72,2%) y factor de crecimiento endotelial vascular (+54,4%) solo se incrementaron con entrenamiento de alta intensidad.

La carencia de oxígeno conduce a procesos adaptativos en el tejido muscular.

Vías		Genes	↑ Intensidad (normoxia)	↑ Intensidad (hipoxia)	↓ Intensidad (normoxia)	↓ Intensidad (hipoxia)
Oxidativa.		Cox 1, Cox 4, NADH6, SDH				
Glucolítico.		PFK				
Oxidación lípidos.		MCAC				
Detección hipoxia.		HIF alfa				
		HIF del				
Transporte O ₂ .		VEGF				
		Mioglobina				
Respuesta al estrés.		Hsp 70				
< 100%	< 50%	< 10%	0%	> 10%	> 50%	> 100%

Figura 1.



Los beneficios son dependientes de las condiciones de hipoxia, pero también serán más elevados si se realizan con alta intensidad.

Actualmente existen tres opciones de entrenamiento para deportistas de resistencia mediante hipoxia:

- **Entrenamiento continuo (IHT):** Permanecer en una altitud determinada, con cámara hipobárica, tienda de hipoxia o utilizando una mascarilla. En este caso nos sometemos a las mismas condiciones de hipoxia durante toda la sesión de entrenamiento y solo tenemos posibilidad de variar la intensidad de entrenamiento.
- **Entrenamiento intermitente (IHIT):** Utilizando una mascarilla de hipoxia realizamos ejercicio a intensidad constante o variable, pero utilizamos ciclos de hipoxia

de una determinada duración combinados con otros en condiciones ambientales de normoxia.

- **Sprints repetidos (RSH):** Se realizan *sprints* de máxima intensidad y duraciones de entre 6 y 30sg en ambiente hipóxico con una recuperación incompleta.

¿Qué método es más eficiente?

La mayoría de los estudios realizados sobre esta opción de entrenamiento en hipoxia no muestran mejoras sobre el $\text{VO}_2\text{máx}$, pero sí en la capacidad de resistencia submáxima (Seitz, 2019) realizando el entrenamiento a intensidades inferiores al umbral anaeróbico (VT_2). Este objetivo podemos utilizarlo con las

dos primeras opciones si el objetivo principal es mejorar la economía y oxidación de grasas, siendo una perfecta opción para pruebas de larga distancia.

Sin embargo, el método de entrenamiento con más apoyo científico es el RSH. En este caso los efectos son más específicos sobre la capacidad anaeróbica y las fibras de contracción rápida, aumentando la activación de enzimas glucolíticas, mejorando la perfusión sanguínea y la extracción optimizada de oxígeno (Millet, 2019). Este aspecto puede ser muy beneficioso para deportes con esfuerzos intermitentes de alta intensidad.



Sin embargo, en cualquiera de los estudios realizados hay resultados dispares y en gran medida se deben a la respuesta a la hipoxia individual de cada deportista. Los sujetos responden de manera diferente a mismas concentraciones de oxígeno y esto puede suponer efectos variables (Soo, 2020). Dentro de la gran cantidad de investigaciones en la mayoría solo se controla la FiO_2 (fracción inspirada de oxígeno, medida en porcentaje) con variaciones importantes en la SpO_2 individual, en las concentraciones habituales de entrenamiento, desde un 11% (concentración del campo base del Everest) hasta el 16-17% (2.200-1.800m)

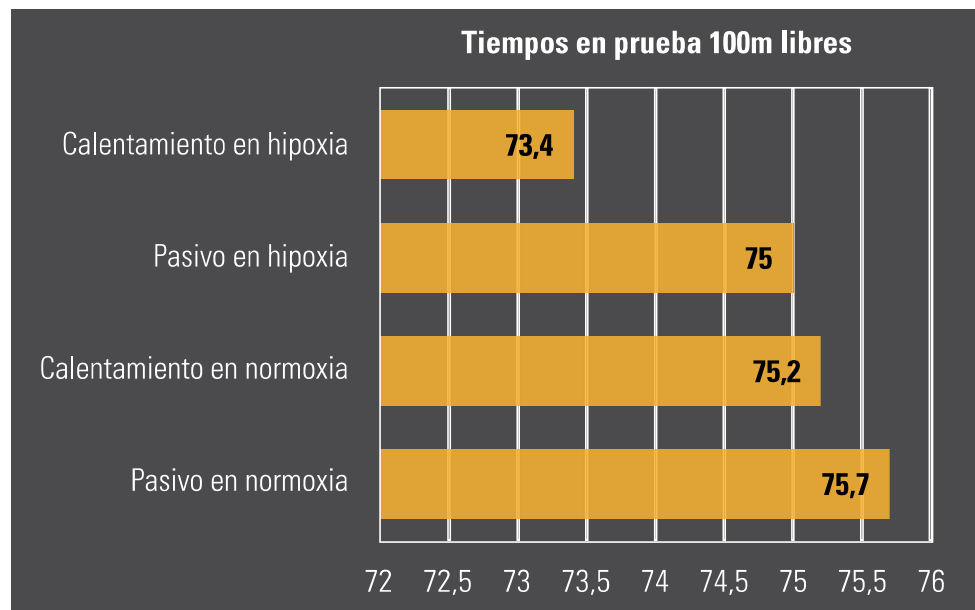


Figura 2. Adaptado de Ramos-Campos, D. y col. «Effects on performance of active and passive hypoxia as a re-warm-up routine before a 100-metre swimming time trial: a randomized crossover study» (2020).

Aunque es curioso como la simple condición de estar en hipoxia en condiciones de reposo (IHE) puede mejorar el rendimiento de una prueba anaeróbica, incluso más que en un calentamiento activo. Y si este calentamiento es en condiciones de hipoxia el rendimiento es aún mayor. Posiblemente debido a mejoras en el metabolismo de la glucosa.

Controlar el entrenamiento (IHT)

Sabiendo que la respuesta es diferente en cada deportista por factores genéticos, aclimatación o incluso fatiga, será necesario controlar cada entrenamiento en estas condiciones y para hacerlo tenemos dos opciones:

1. Saturación capilar (SpO_2) mediante pulsioxímetro para controlar el efecto sistémico
2. Saturación muscular (SmO_2) mediante tecnología NIRS para controlar el efecto muscular localizado.

Los pocos estudios que realizan un control de variables internas lo hacen sobre la satura-

ción capilar. En este caso tenemos registro de los efectos en el torrente sanguíneo, mediante los capilares del dedo o incluso el lóbulo de la oreja, que permiten conocer los efectos que ocasionarán a nivel global. Un descenso sistémico provocará beneficios en la producción de HIF regulando multitud de genes relacionados con el rendimiento.

Sin embargo, la utilización de tecnología NIRS para controlar los efectos sobre la musculatura implicada en el ejercicio es casi inexistente. Pero precisamente, como hemos visto, los mayores beneficios de la hipoxia en ejercicio (IHT) se localizan sobre el tejido muscular y tiene más sentido utilizar esta forma de control.

A pesar de que puede parecer fácil, tener controlados tantos parámetros para conseguir los efectos deseados no es sencillo, ya que la saturación tanto capilar como muscular es muy variable y tendremos que controlar a la vez: (ver tabla 1).

Parámetros	Consideraciones
FiO_2 .	Es el aspecto más importante para controlar y ajustar. Una menor concentración de O_2 supone mayor facilidad para disminuir la SpO_2 y SmO_2 .
Intensidad.	El incremento de intensidad implica un mayor «secuestro» de oxígeno por parte del grupo muscular implicado, por lo que además del oxígeno disponible, controlar la cantidad de oxígeno que utilizamos será imprescindible en la progresión del entrenamiento.
Duración.	Cuanto mayor es el tiempo en hipoxia, menor es la disponibilidad de O_2 , por lo que la duración de cada serie o bloque en hipoxia tiene una gran importancia en los efectos sobre la desoxigenación.
Otras variables.	Además de los anteriores, la fatiga, frecuencia respiratoria o cadencia del gesto deportivo pueden ocasionar variaciones importantes en la mayor o menor desoxigenación.

Tabla 1.



El entrenamiento de hipoxia intermitente en ejercicio no implica mejoras en parámetros sanguíneos, pero sí en el tejido muscular.

Propuesta de trabajo (IHT)

En este aspecto no hay mucha ciencia, pero sí experiencia de varios años que vamos a tratar de transmitir en una progresión de entrenamiento.

La hipoxia sistémica tiene un margen en el que los efectos son positivos, pero si este es sobrepasado, en vez de beneficios tendremos consecuencias negativas como vasoconstricción, inflamación, incremento de ROS, etc. (Verges, 2015). Por eso las marcas comerciales de máquinas de hipoxia recomiendan no disminuir la saturación de oxígeno capilar (SpO_2) de 75-80%, incluso hasta en sesiones iniciales para novatos estos valores pueden ser excesivos.

1ª etapa

El primer paso a nivel práctico sería reali-

zar una aclimatación sistémica a las condiciones de hipoxia, para evitar que la SpO_2 disminuya excesivamente. Esto lo podemos hacer con sesiones de hipoxia en reposo (IHE) o en ejercicio con intervalos de tiempo cortos (sin superar los 2-3min) y a intensidades muy bajas, por debajo del umbral aeróbico ($VT1$).

2ª etapa

En esta fase debemos incrementar el tiempo de series en condiciones IHIT o la intensidad, dependiendo de nuestros objetivos, pero siempre con la SpO_2 como referencia. Esta fase puede llevar hasta una decena de sesiones para conseguir que no exista una limitación sistémica y poder trabajar lo realmente interesante para el rendimiento, la desoxigenación muscular.

3ª etapa

Comienza cuando la SpO_2 no disminuye excesivamente (referencia de aproximadamente un 80% de SpO_2) a pesar de mantener una intensidad moderada (zona entre umbrales) y durante cierto tiempo. Cuanto más elevada sea la intensidad, mayor posibilidad utilizar fibras más glucolíticas durante el trabajo y en esta fase podemos incluso permitirnos aumentar la FiO_2 para incrementar la disponibilidad de oxígeno, tratando de aumentar el «secuestro de oxígeno» por el músculo y por tanto una mayor desoxigenación localizada, pero no sistémica. Esta fase es la más creativa y en la que debemos conseguir la máxima desaturación posible del deportista a nivel muscular (SmO_2), que controlaremos con tecnología NIRS, sin descensos importantes de SpO_2 .



4ª etapa

Solo sería importante para los deportistas que tienen necesidades anaeróbicas y es la utilización de RSH. Si vamos a participar en una prueba de larga distancia de forma individual (Ironman, *ultratrail*, etc.) no parece un método interesante, al menos cerca de las competiciones, ya que además es un entrenamiento muy exigente.

Resumen

- El entrenamiento de hipoxia intermitente en ejercicio no implica mejoras en parámetros sanguíneos, pero sí grandes beneficios en el tejido muscular que implican mejoras en la eficiencia metabólica, capacidad glucolítica, oxidativa y capilarización localizada.
- Es fundamental realizar el entrenamiento en las mismas condiciones que en el deporte que necesitamos mejorar. Si so-

mos nadadores y hacemos IHT en bicicleta, seremos ciclistas más eficientes, pero quizá no mejoremos nuestro rendimiento en el agua.

- Seleccionar el método adecuado para cada objetivo. Si somos deportistas de larga duración entrenamientos IHT en intensidades moderadas en formato continuo o intermitente (IHIT), y si necesitamos mejoras anaeróbicas podemos utilizar el exigente método de RSH si estamos adaptados.
- Controlar en cada sesión las dos variables más importantes para conseguir el éxito, saturación sistémica (SpO_2) y muscular de la zona que trabaja (SmO_2).
- Tener en cuenta que aspectos como la cadencia o la fatiga pueden alterar los efectos de la sesión, por lo que hay que estar preparado para modificar lo programado y ajustar. ■ ■ ■ ■ ■

BIBLIOGRAFÍA

- CAMACHO-CARDENOSA, A. y col. «Repeated sprint in hypoxia as a time-metabolic efficient strategy to improve physical fitness of obese women» (2020).
- CZUBA, M. y col. «Intermittent hypoxic training improves anaerobic performance in competitive swimmers when implemented into a direct competition mesocycle» (2017).
- MILLET, G. y col. «Combining hypoxic methods for peak performance» (2013).
- MILLET, G.P. y col. «Repetead sprint training in hypoxia - an innovate method» (2019).
- MUKAI, K. y col. «Four weeks of high-intensity training in moderate, but not mild hypoxia improves performance and running economy more than normoxic training in horses» (2021).
- SETZ, H. y col. «Effects of the 'Live Low-Train High' Method on Variables of Endurance Capacity. A Systematic Review» (2019).
- SOO, J. y col. «The Use of the SpO_2 to FiO_2 Ratio to Individualize the Hypoxic Dose in Sport Science, Exercise, and Health Settings» (2020).
- TERRADOS, N. y col. «Is hypoxia a stimulus for synthesis of oxidative enzymes and myoglobin?» (1990).
- VOGT, M. y col. «Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions» (2001).

Xinergia Top



ENTRENAMIENTO CRUZADO

ÚNETE AHORA

EN



ENTRENAMIENTO EN HIPOXIA Y
CONTROL DE LA OXIGENACIÓN

CURSOS ONLINE

DA MAYOR RESULTADO