

REC: CardioClinics

www.reccardioclinics.org

Editorial

La hipoxia intermitente como terapia: mucho más que para mejorar el rendimiento deportivo



Intermittent hypoxia as therapy: much more than just improving sports performance

Araceli Boraita^{a,b}^a Cardióloga y Especialista en Medicina del Deporte, Madrid, España^b Instituto de Investigación Hospital 12 de Octubre (imas12), Madrid, España

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Historia del artículo:

On-line el 3 de marzo de 2023

La hipoxia normobárica intermitente (HNI) es una técnica de entrenamiento utilizada en deportistas con el objetivo de mejorar el rendimiento deportivo, aunque tiene muchos más efectos beneficiosos para la salud. Es una herramienta eficaz que va afianzándose progresivamente, tanto en el campo deportivo como en el de la salud.

La exposición a la HNI se lleva a cabo en reposo y consiste en la alternancia de periodos hipóxicos de corta duración con periodos de recuperación en normoxia o hiperoxia. Las presiones parciales de los gases que componen el aire se ven disminuidas y, por lo tanto, la captación y procesos de respiración pulmonar alveolar resultan obstaculizados. Este fenómeno estimula el factor inducible por hipoxia (HIF-1) que genera una reacción en cascada consistente en un aumento en número y actividad de mitocondrias, dando como resultado un uso optimizado del oxígeno en la producción de energía, una mejora en la oxidación de las grasas que se mantiene activada en las horas posteriores a la finalización del ejercicio, una mejora de la capacidad tampón de los procesos de limpieza del ácido láctico y un incremento en el número de capilares

sanguíneos. Además, tiene efecto neurotrófico y modulador a nivel cerebral de los neurotransmisores como la serotonina, clave para regular el estado de ánimo, el apetito y la calidad del sueño. Por otro lado, regula la respiración, facilitando un mejor intercambio de gases en los pulmones, produce cambios en el sistema nervioso autónomo y mejora la defensa antioxidante del organismo. Todos estos efectos la convierten en una valiosa estrategia en el tratamiento de patologías como la obesidad y resistencia a la insulina y, además, es un método eficaz en el tratamiento de diversas patologías como el asma o ciertas enfermedades neurológicas, entre otras¹.

Efectos fisiológicos de los programas de entrenamiento en hipoxia

Algunas de las adaptaciones producidas en el organismo que pueden incrementar el rendimiento tras un programa de entrenamiento en hipoxia no se relacionan con parámetros hematológicos² y tienen que ver con cambios moleculares y celulares, mejoras en la economía del movimiento o la mayor capacidad tampón y de regulación del pH en el músculo. En la fase aguda de adaptación a la hipoxia, se produce una hiperventilación que hace que se reduzca la presión parcial de

Correo electrónico: araceliboraita@gmail.com

@AraceliBoraita

<https://doi.org/10.1016/j.rccl.2023.01.002>

2605-1532/© 2023 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

dióxido de carbono) y que ocasiona un incremento del pH. Como consecuencia, se origina un incremento en la secreción renal de bicarbonato que reduce los iones de hidrógeno (H⁺) y amortigua la concentración de ácido láctico.

También se ha observado, cuando se combina la HNI con ejercicio intenso, una mejora en la capacidad de producir y soportar el lactato durante el ejercicio, relacionada con la mayor producción de los transportadores de monocarboxilato responsables de movilizar el lactato a través de las membranas plasmáticas en los eritrocitos y en las células musculoesqueléticas.

Efectos sobre el rendimiento aeróbico

Los efectos que producen los programas de entrenamiento en hipoxia sobre el rendimiento aeróbico (VO₂máx) son muy divergentes, pero parece que no influye de forma positiva sobre la potencia aeróbica. Los estudios que aplican programas de entrenamiento en hipoxia y que incorporan un grupo control en su diseño no obtienen una mejora significativa en el VO₂máx³⁻⁵, pero observan una mejora del rendimiento en otros parámetros como el tiempo de prueba, que indican que pueden existir otros mecanismos que desempeñan un papel fundamental en el incremento del rendimiento deportivo.

Lo mismo sucede con los efectos a nivel del umbral anaeróbico; algunos autores observan una mejora de la potencia o la velocidad en el umbral anaeróbico⁵, y por el contrario, otros estudios no perciben cambios^{3,6}.

Hay muy pocos estudios que tras un programa de entrenamiento en hipoxia que mida la economía del ejercicio (energía demandada para generar un trabajo submáximo) hayan observado mejoras significativas. Burtcher et al.⁷ encontraron un descenso significativo del consumo de oxígeno a las velocidades submáximas de 12, 14 y 16 km/h de 4,3 ml/kg/min. En un estudio similar, Neya et al.⁸ percibieron una mejora del 5% en la economía de carrera a velocidades submáximas después de un programa de 12 días de HNI a 3.000 m de altitud simulada. Estos resultados indican que los protocolos de HNI causan un descenso de los requerimientos de energía durante ejercicios submáximos.

Los mecanismos que pueden mejorar la economía del ejercicio se relacionan con la reducción del VO₂ a intensidades submáximas y con el descenso de la ventilación. Además, la aclimatación a la hipoxia produce una mayor eficiencia en la utilización de la betaoxidación de grasas para la obtención de trifosfato de adenosina en detrimento de los hidratos de carbono, que pueden derivar en una mejora de la eficacia energética. También se ha observado un menor consumo de trifosfato de adenosina a nivel muscular, que según Neya et al.⁸ se debe a una mayor eficacia mitocondrial.

Efectos en el rendimiento anaeróbico

Los efectos que producen los programas de HNI en el rendimiento anaeróbico no son muy conocidos, ya que el interés de los programas de HNI siempre se ha relacionado con el deporte de resistencia de larga duración. Hay algún estudio que muestra cambios significativos en la concentración de lactato muscular y la regulación del pH después de 6 semanas de

entrenamiento en hipoxia⁹. Se atribuye estos cambios a factores relacionados con la regulación del pH y el transporte de lactato, que teóricamente pueden producir una mejora en el proceso de la glucólisis anaeróbica.

Efectos en el tiempo de prueba

Los resultados de la efectividad de los programas de HNI sobre el tiempo de prueba son muy diversos. Por un lado, hay estudios^{4,10,11} que utilizan programas de HNI normobárica con una FIO₂ entre 0,1 y 0,13 y que encuentran mejoras de entre el 1,5 y el 3% en el tiempo de prueba. Otros trabajos observan un aumento que varía del 1,7 al 8,2% en función de la variable de rendimiento medida, como el tiempo en recorrer 3 km¹⁰ o la potencia generada en cada escalón de un test incremental en cicloergómetro⁵. Además, cabe destacar que las mejoras observadas en el tiempo de prueba se obtienen 3 días después de terminar el programa de hipoxia, resultados que se mantienen a los 14 días de la finalización de la exposición⁵.

En resumen, los efectos de los programas de exposición y entrenamiento en hipoxia se asocian con una mejora de parámetros fisiológicos relacionados con el rendimiento aeróbico y un incremento del rendimiento anaeróbico. Los programas de entrenamiento en hipoxia parecen ser más beneficiosos que los de HNI para incrementar el rendimiento debido al incremento de la eficiencia mitocondrial y de la regulación del pH y del lactato.

En el trabajo de Sanz-Ayán et al.¹² publicado recientemente en REC: CardioClinics, se analiza la seguridad de un tratamiento basado en un acondicionamiento hipóxico-hiperóxico intermitente en la rehabilitación de pacientes con insuficiencia cardiaca con clase funcional de la New York Heart Association II-III estable. Incluyeron de manera prospectiva a 14 pacientes (64% varones), 50% en clase III de la New York Heart Association, y en el 71,4% la etiología era isquémica. Utilizaron sistemas de hipoxia normobárica personalizada con ciclos de hipoxia (entre el 11 y el 14%) e hiperoxia del 35%, y la respuesta al tratamiento se evaluó fundamentalmente con la fracción aminoterminal del péptido natriurético cerebral tipo B (NT-proBNP), considerando que un descenso mínimo del 30% era un tratamiento seguro y eficaz.

A pesar de que el diseño del protocolo estaba bien estructurado para conseguir los mayores efectos de la HNI, como era de esperar, los valores hematológicos no mostraron cambios significativos al igual que el VO₂ pico^{3,10}. La frecuencia cardiaca presentó una leve tendencia al descenso que no fue significativa, pero sí lo fue el descenso de la presión arterial, tanto sistólica como diastólica, tal como observaron Muangritdech et al.¹³ en los pacientes hipertensos que se sometían a tratamiento con HNI, tanto en reposo como con entrenamiento. Este efecto es atribuido a la activación del HIF-1 que regula positivamente la producción de óxido nítrico con resultado de vasodilatación y reducción de las resistencias arteriales periféricas. El análisis de la calidad de vida tampoco demostró hallazgos valorables, al igual que el VO₂ pico, como índices de mejora de la capacidad funcional.

Este estudio refrenda la seguridad y eficacia de la exposición a hipoxia-hiperoxia normobárica, dentro de un programa de rehabilitación cardiaca, en pacientes con insuficiencia car-

diaca estable y, de manera novedosa, evalúa la respuesta al tratamiento con el NT-proBNP como indicador del grado de insuficiencia cardiaca. Este método, que no había sido probado, parece ser una terapia segura, aunque desafortunadamente no se dispone de biomarcadores que seleccionen a los buenos respondedores.

Es de esperar que nuevos estudios con mayor número de pacientes aporten información sobre el uso de la HNI, no solo en pacientes con insuficiencia cardiaca, sino también en pacientes con otras cardiopatías, abriendo nuevas perspectivas para su utilización complementaria al tratamiento farmacológico.

Financiación

Este trabajo no ha recibido ningún tipo de financiación.

Conflicto de intereses

La autora declara no tener conflictos de interés relacionados con este artículo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Hun-young P, Hyejung H, Jonghoon P, Seongno L, Kiwon L. The effects of altitude/hypoxic training on oxygen delivery capacity of the blood and aerobic exercise capacity in elite athletes – a metaanalysis. *J Exerc Nutrition Biochem*. 2016;20:15–22.
2. Gore CJ, Clark SA, Saunders PU. Nonhematological mechanisms of improved sea-level performance after hypoxic exposure. *Med Sci Sports Exerc*. 2007;39:1600–1609.
3. Tadibi V, Dehnert C, Menold E, Bartsch P. Unchanged anaerobic and aerobic performance after short-term intermittent hypoxia. *Med SciSports Exerc*. 2007;39:858–864.
4. Marshall HC, Hamlin MJ, Hellemans J, et al. Effects of intermittent hypoxia on SaO₂, cerebral and muscle oxygenation during maximal exercise in athletes with exercise-induced hypoxemia. *Eur J Appl Physiol*. 2008;104:383–393.
5. Bonetti DL, Hopkins WG, Lowe TE, Boussana A, Kilding AE. Cycling performance following adaptation to two protocols of acutely intermittent hypoxia. *Int J Sports Physiol Perform*. 2009;4:68–83.
6. Ramos DJ, Martínez F, Rubio JA, Esteban P, Mendizábal S, Jiménez JF. Modificaciones en parámetros fisiológicos tras un programa de hipoxia intermitente en sujetos entrenados y no entrenados. *J Sport Health Res*. 2010;2:151–166.
7. Burtcher M, Gatterer H, Faulhaber M, Gerstgrasser W, Schenk K. Effects of intermittent hypoxia on running economy. *Int J Sports Med*. 2010;31:644–650.
8. Neya M, Enoki T, Kumai Y, Sugoh T, Kawahara T. The effects of nightly normobaric hypoxia and high intensity training under intermittent normobaric hypoxia on running economy and hemoglobin mass. *J Appl Physiol*. 2007;103:828–834.
9. Zoll J, Ponsot E, Dufour S, et al. Exercise training in normobaric hypoxia in endurance runners. III. Muscular adjustments of selected gene transcripts. *J Appl Physiol*. 2006;100:1258–1266.
10. Hamlin MJ, Hellemans J. Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. *J Sports Sci*. 2007;25:431–441.
11. Hamlin MJ, Hinckson EA, Wood M, Hopkins WG. Simulated rugby performance at 1550-m altitude following adaptation to intermittent normobaric hypoxia. *J Sci Med Sport*. 2008;11:593–599.
12. Sanz-Ayán MP, Crespo González-Calero M, Izquierdo García J, et al. Acondicionamiento hipóxico-hiperóxico intermitente en la rehabilitación de la insuficiencia cardiaca. *REC CardioClinics*. 2022, <http://dx.doi.org/10.1016/j.rccl.2022.08.001>.
13. Muangritdech N, Hamlin MJ, Sawanyawisuth K, et al. Hypoxic training improves blood pressure, nitric oxide and hypoxia-inducible factor-1 alpha in hypertensive patients. *Eur J Appl Physiol*. 2020;120:1815–1826.