



apunts

MEDICINA DE L'ESPORT

www.apunts.org



REVISIÓN

Potenciales aplicaciones del entrenamiento de hipoxia en el fútbol[☆]

Jesús Álvarez-Herms^{a,*}, Sonia Julià-Sánchez^a, Aritz Urdampilleta^b, Francesc Corbi^c y Ginés Viscor^a

^a *Departament de Fisiologia i Immunologia, Universitat de Barcelona (UB), Barcelona, España*

^b *Departament de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco (UPV), España*

^c *Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport - Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, Centre de Lleida, Universitat de Lleida (Udl), Lleida, España*

Recibido el 29 de noviembre de 2011; aceptado el 26 de marzo de 2012

Disponible en Internet el 2 de julio de 2012

PALABRAS CLAVE

Hipoxia;
Fútbol;
Fisiología;
Entrenamiento

KEYWORDS

Hypoxia;
Football;
Physiology;
Training

Resumen En el fútbol profesional entrenar en hipoxia no es una práctica extendida, aunque las posibles mejoras en el rendimiento físico obtenidas a través de su uso podrían ser relevantes en la preparación y recuperación física. El carácter de esfuerzo intermitente que define el fútbol requiere que el jugador se recupere lo más rápido posible entre esfuerzos de alta y baja intensidad. En un estudio previo realizado por este grupo de investigación se constató una mejora significativa de la frecuencia cardíaca de recuperación desde esfuerzo máximo después de realizar un protocolo de entrenamiento de fuerza resistencia en hipoxia intermitente. Del mismo modo, los beneficios fisiológicos de la exposición y entrenamiento en hipoxia podrían aumentar el rendimiento individual de los jugadores de fútbol. Este estudio pretende revisar los estudios publicados sobre el tema y el uso y las posibles aplicaciones del entrenamiento en hipoxia para el rendimiento físico en el fútbol.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicado por Elsevier España, S.L. Todos los derechos reservados.

Potential applications of hypoxia in football training

Abstract The use of hypoxia in professional football training is not widely used although improvements in physical performance obtained with hypoxia could be relevant for the fitness and physical recovery. Football is defined as an intermittent effort sport and requires that players recover as quickly as possible between great efforts. In a study previously carried out by

[☆] La temática de dicho artículo ha sido presentada en el I Congreso de fútbol RCDE-INEFC realizado en el INEFC de Barcelona el 1 junio de 2011 con la organización conjunta con el club de fútbol profesional Español de Barcelona. Dicho artículo no ha sido publicado en ninguna otra revista ni enviado para su aceptación.

* Autor para correspondencia.

Correos electrónicos: jesusalvarez80@hotmail.com, jalvar54@xtec.cat (J. Álvarez-Herms).

this research group a significant improvement was found in heart rate recovery from maximal exercise after performing strength resistance training in intermittent hypoxia. Similarly, the physiological benefits of exposure and training in hypoxia may increase the individual performance of soccer players. The main aim of this review is analyze the literature on the use and possible applications of hypoxia training for physical performance in football.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Published by Elsevier España, S.L. All rights reserved.

Introducción

En los últimos años, el fútbol profesional ha evolucionado considerablemente en los métodos utilizados para la mejora del área condicional, la recuperación, la preparación psicológica, la prevención de lesiones y la rehabilitación. En paralelo, la exposición a hipoxia (aguda, crónica, intermitente, real, simulada, activa o pasiva) es utilizada como método de entrenamiento para la mejora del rendimiento físico-deportivo. Aun así, no existe una prescripción definitiva sobre la mejor «dosis» exacta en el uso y exposición de hipoxia, sobre todo en deportes de carácter intermitente y colectivo. Diferentes autores han analizado gran cantidad de trabajos científicos existentes sobre la temática con resultados ambiguos sobre su utilización¹. Bonetti et al.¹, en un artículo de metaanálisis exhaustivo sobre ejercicio físico en hipoxia, describen un consenso en la prescripción de ejercicio para la mejora del rendimiento aeróbico pero argumentan discrepancias en el posible efecto del entrenamiento anaeróbico e intermitente.

El deporte colectivo, a diferencia del deporte individual, está integrado en un sistema técnico-táctico de conjunto donde el rendimiento físico no está necesariamente relacionado con variables fisiológicas, anatómicas o mecánicas, aunque sí parece estar influenciado positivamente por ellas.

El interés científico-deportivo del estudio fisiológico de la respuesta a la altitud tiene sus inicios a partir de los grandes éxitos logrados en pruebas de fondo por los atletas africanos residentes en zonas de altitud moderada (1.800-3.000 m sobre el nivel del mar) en los Juegos Olímpicos de México de 1968, donde su irrupción en el panorama deportivo fue sorprendente².

Esta situación ha propiciado que se genere un especial interés entre la comunidad científico-deportiva por el estudio de los posibles factores que permitan explicar un incremento en el rendimiento de los atletas que viven en altitud respecto a los que lo hacen en normoxia, relacionando en última instancia los efectos de la altitud con un incremento en el rendimiento. Esta afirmación no puede considerarse una afirmación definitiva, pues los factores de rendimiento deportivo final son multifactoriales (motivación, ambiente deportivo, mentalidad...). Existen numerosas hipótesis que han surgido en el transcurso de los años que intentan explicar dicha mejora y se han descrito, desde un punto de vista científico, cambios fisiológicos orgánicos en el ser humano después de la exposición a diferentes alturas².

El organismo humano obtiene energía a través de procesos metabólicos aeróbicos y anaeróbicos³, y la respuesta metabólica es diferente en función de la intensidad del

estímulo. La capacidad de rendimiento física en hipoxia se ve ligeramente disminuida a medida que la altitud a la cual se realiza la actividad física es mayor⁴. Existe un cierto consenso científico sobre la utilidad de los efectos de exposición a la altura sobre el rendimiento deportivo predominantemente aeróbico⁵ y su utilización está extendida en el entrenamiento deportivo en pruebas de medio fondo y fondo de carácter individual (ciclismo, atletismo, triatlón, remo...). En contraposición, el entrenamiento en hipoxia para mejorar los efectos del entrenamiento anaeróbico han sido menos estudiados: los estudios difieren en su protocolización y medición, y por ello su aplicación es más controvertida. Aun así, existen diversos estudios que argumentan efectos positivos sobre el rendimiento anaeróbico⁶⁻⁸.

La periodización anual en fútbol requiere de una estructuración diferente a la utilizada en los deportes de rendimiento individual. Aunque existen diferentes metodologías de periodización en el fútbol en función de los diferentes métodos y sistemas de juego utilizados, es común a todos ellos que se busque conseguir el mantenimiento de un rendimiento alto (pero no máximo) durante el máximo tiempo posible, a lo largo de la temporada⁹, con picos de forma puntuales en función de los objetivos deportivos.

El objetivo de este trabajo es realizar un análisis de los efectos del entrenamiento físico con exposición a hipoxia (intermitente, crónica, aguda, real o simulada) y su posible aplicación en el fútbol, con el objetivo de maximizar el rendimiento físico individual. Se ha revisado y analizado un amplio número de publicaciones científicas de relevancia relacionadas con el rendimiento deportivo en general para justificar y resumir los aspectos positivos y negativos (fisiológicos, mecánicos y perceptivos) que podría devenir de su aplicación en el entrenamiento en el fútbol.

En el campo de la rehabilitación y/o recuperación de estados de lesión e inactividad, la aplicación del entrenamiento en hipoxia en períodos de recuperación o en jugadores lesionados también puede resultar interesante como forma de mantener estados de forma más elevados o como medio para facilitar la reintroducción del jugador lesionado en la dinámica grupal lo antes posible después de períodos de inactividad¹⁰. En este último punto, Álvarez-Herms et al.¹¹ comprobó que el entrenamiento de fuerza-resistencia en hipoxia hipobárica en un grupo de deportistas mejoraba la frecuencia cardíaca de recuperación y la capacidad anaeróbica láctica en un ejercicio máximo, en comparación con un grupo control en normoxia. Este aspecto sería importante para que jugadores lesionados pudieran entrenar (fuerza, reeducación postural, exposición pasiva a altitud...) en la fase de baja y, mediante

el estímulo externo y perceptivo-fisiológico aumentado de la hipoxia (que aumenta las necesidades metabólicas y adaptativas), compensar esta falta de estímulos intensivos específicos. El objetivo en este caso sería volver a la dinámica del grupo en mejor condición física que realizando el mismo entrenamiento de rehabilitación en normoxia¹⁰.

En el alto rendimiento deportivo es clave el término de la especificidad en el entrenamiento. Este aspecto es clave en la potenciación del entrenamiento deportivo profesional, y por ello la aplicación de nuevas metodologías adaptables debe ser tomada en consideración de cara a mejorar los sistemas de entrenamiento.

Estado de la cuestión

Análisis científico de la fisiología y la hipoxia

A partir de los resultados de diferentes estudios científicos se han descrito cambios fisiológicos con la exposición a la altitud (real o simulada, crónica, aguda o intermitente). De la bibliografía analizada en este estudio se describen como resumen los siguientes puntos:

1. Existencia de un *acuerdo global sobre la utilidad del entrenamiento aeróbico* a baja altitud en combinación con la residencia en altitud moderada para la mejora del rendimiento físico a nivel del mar (*living high-training low*)^{5,12,13}.
2. Diversas investigaciones concluyen que con cortos períodos de exposición ya se aprecian mejoras en el rendimiento anaeróbico aunque existe *una menor cantidad de investigaciones concluyentes sobre los efectos del entrenamiento anaeróbico en hipoxia*^{8,14-18}.
3. *La mejora en el metabolismo anaeróbico en hipoxia*¹⁹⁻²² sería debida a una potenciación de la vía anaeróbica por la mayor contribución energética de la vía en hipoxia^{18,23,24} y a una respuesta más eficiente a los procesos limitantes por el ejercicio en anaerobiosis (efecto tampón [*buffer*] y respuesta al estrés)^{25,26}.
4. En los ejercicios con un número de imitaciones mantenidas y/o repetidas en el tiempo (lanzamientos de balonmano, chuts de fútbol, sprints continuos...) y cuyo nivel de eficacia debe mantenerse hasta el último momento, el rendimiento se puede ver afectado por una disminución en el aporte de energía y por una limitación en la capacidad de mantenimiento de la intensidad requerida. Por ello, *la mayor intensidad relativa, la mayor especificidad*²⁷, *la mayor respuesta a la anaerobiosis* (buffer), el aumento de la citrato sintasa¹⁵ y de la mioglobina²⁸, un aumento en el número de capilares con el entrenamiento en hipoxia²⁹ y los cambios en expresión de genes PFK por vía anaeróbica en hipoxia³⁰ pueden tener efectos positivos sobre la capacidad de repetir determinados gestos deportivos.
5. La mejora en la recuperación de la frecuencia cardíaca máxima desde ejercicios máximos es un parámetro fisiológico intermitente donde es primordial la recuperación entre esfuerzos máximos. A este efecto, Álvarez-Herms J et al.¹¹ encontraron mejoras en el índice de recuperación de la frecuencia cardíaca máxima desde ejercicio

máximo en sujetos que entrenaron fuerza-resistencia en hipoxia intermitente (12 sesiones durante 4 semanas a 2.500 m) respecto a los que entrenaron equitativamente en normoxia. Este punto sería fundamental para aumentar la competencia de los futbolistas por el aumento de su nivel de rendimiento.

Hipoxia y fútbol

Paralelamente al análisis y descripción de la bibliografía existente sobre entrenamiento deportivo e hipoxia, se ha realizado una búsqueda en diferentes bases de datos científico-médicas (Medline, Sportdiscus y Google Scholar) sobre la utilización de la hipoxia y las condiciones de adaptación y de juego en el fútbol. Se acotaron las palabras clave a cuatro: «hipoxia», «fútbol», «entrenamiento» y «aclimatación». La búsqueda se realizó con las palabras clave en inglés. Se descartaron artículos no relacionados con el entrenamiento y competencia en altitud, aclimatación y/o consenso científico. Un total de 12 artículos específicos sobre fútbol e hipoxia han sido revisados extensamente.

En esta revisión se ha constatado que existe controversia sobre la posibilidad de prohibición de la competición futbolística cuando esta pueda desarrollar a ciertas altitudes, debido a que esta pueda dificultar el rendimiento físico o incluso la salud. A este efecto, se ha analizado la respuesta orgánica fisiológica con la intención de obtener información que permita llegar a un posicionamiento³¹.

Se ha descrito que competir en fútbol en altitud moderada y sin aclimatación previa reduce el desempeño físico y aumenta la percepción subjetiva de esfuerzo, pudiendo influir negativamente en la vertiente psicológica del deportista³². Levine et al.³³ describieron que en el jugador de su VO₂max (rendimiento aeróbico) compitiendo en altitud moderada, con aumento de la intensidad relativa de esfuerzo y manifestando una menor capacidad de recuperación de la vía de los fosfágenos. Este aspecto disminuiría la capacidad de realizar acciones repetidas de alta intensidad. Este aspecto es clave, dada la naturaleza de la ejecución específica en el fútbol, donde gran parte de estas acciones tendrán un importante componente técnico. Ello de debe a una mayor dificultad para captar oxígeno del ambiente y transportarlo a las mitocondrias musculares, lo que se refleja en un descenso en la saturación de oxígeno arterial, que provocaría una mayor acidificación del medio interno muscular.

Sin aclimatación, a medida que aumenta la altitud existen respuestas fisiológicas inmediatas —el aumento de la frecuencia cardíaca y de la ventilación incluso en reposo— como mecanismo compensatorio^{34,35}. Además, como ya se ha descrito anteriormente, el metabolismo anaeróbico aumenta su protagonismo y con ello la utilización de glucosa como sustrato principal, tendiendo al agotamiento precoz de las reservas, que condicionaría el rendimiento final del deportista. Curiosamente, esta mayor explotación de reservas glucolíticas se traduce en ciertos patologías en la prevención de patologías como la diabetes mellitus, la resistencia a la insulina y el síndrome metabólico, con la aplicación del entrenamiento físico en altitud moderada (1.700-2.400 m)³⁶. En relación con este último punto,

estrategias nutricionales deberían ser tenidas en cuenta para la competencia y entrenamiento en altitud.

Con estas premisas, se han descrito desventajas en equipos no aclimatados a la altitud, cuando estos compiten en altitudes superiores a 2.000 m. Entre ellas destacan la aparición del mal agudo de montaña, el sueño irregular, un aumento en la frecuencia cardíaca basal y en la producción de lactato, y un descenso (dependiente de la altitud y de la tolerancia individual a la hipoxia) de hasta el 25% del $VO_2\text{max}$ ³⁷. Ante estos efectos, se propone la aclimatación previa como método de mejora de la salud y el rendimiento físico en altitud. El uso de la hipoxia intermitente como método de preparación de la competencia en altitud se ha propuesto de parámetro válido en el rendimiento de resistencia aeróbica y anaeróbica³⁸⁻⁴⁰. Además, la respuesta individual puede acentuar la intolerancia a la altitud.

Aunque los parámetros fisiológicos alcanzados en un partido de fútbol no son tan elevados en comparación con los alcanzados en algunos deportes individuales, la mejora que se obtendría con los beneficios del entrenamiento en hipoxia podría hacer aumentar la competencia técnico-táctica del jugador por un aumento en la capacidad. En este caso, Helgerud et al.⁴¹, al estudiar jugadores juveniles de la selección noruega de fútbol, observaron que una mejora en el 10% del $VO_2\text{max}$ se correlacionaba con un aumento del 20% en la distancia recorrida en el partido y de un 100% en el número de sprints realizados. Cuando comparamos el rendimiento en altitud de jugadores aclimatados y no aclimatados, se constatan claras diferencias que podrían influir en el resultado final. Hemos de asumir que esto es muy relativo en función del nivel específico de los equipos (técnico-táctico).

El encaje de la intervención en hipoxia intermitente en la periodización anual

Tal y como se ha descrito⁴²⁻⁴⁴, el fútbol es un deporte complejo en el que el rendimiento final depende de procesos técnicos, tácticos, psicológicos y factores sociales.

Los posibles beneficios que el estímulo de exposición a la hipoxia provoca (tabla 1) han sido descritos anteriormente, aunque quizás el aumento de sensibilidad al propio estímulo adaptativo sea lo más interesante. A este respecto, el tejido muscular responde a la hipoxia incrementando la expresión de genes inducidos por la hipoxia como respuesta compensatoria⁴⁵. Este aspecto es importante porque estimula la capacidad de respuesta muscular ante nuevos estímulos y ejerce una respuesta de aclimatación que potencia las perspectivas de respuesta ante desequilibrios homeostáticos (base de la mejora en el rendimiento deportivo).

En un estudio previo, Álvarez-Herms et al.¹¹ observaron que cuando el ejercicio realizado en hipoxia es de tipo explosivo, la potencia máxima no disminuye (en comparación con ese mismo ejercicio realizado en normoxia) y la capacidad anaeróbica láctica no se ve afectada. Aunque la menor resíntesis de fosfágenos puede afectar en la recuperación generando mayor fatiga y acumulación de metabolitos⁴⁶, este aspecto favorece la recuperación de la capacidad anaeróbica láctica (potenciación de la carga de entrenamiento láctica)³³.

Existen jugadores profesionales que han utilizado cámaras normobáricas (exposición intermitente) en la búsqueda

Tabla 1 Potencialidades e inconvenientes de la aplicación del entrenamiento en hipoxia en el fútbol

Potencialidades	Inconvenientes
Mejora de la cualidad física de resistencia	Falta de estudios científicos aplicados al deporte colectivo
Aclimatación fisiológica y psicológica previa a la competencia en altitud	Necesidad de protocolización específica
Mejora de la respuesta hematopoyética	Coste de la maquinaria
Aumento de la capacidad <i>buffer</i> muscular	Desconocimiento en la metodología y aplicaciones
Mayor tolerancia al lactato	Dificultad de introducción en la periodización deportiva
Respuesta génica (HIF-1) y enzimática específica	
Mejora de la frecuencia cardíaca de recuperación después de ejercicio máximo	
Aumento de la intensidad relativa de esfuerzo	
Aumento de la especificidad de la carga	
Posibilidad de exposición pasiva y activa durante fases de recuperación/rehabilitación como método de mantenimiento de la condición física	

de la mejora del rendimiento individual. Es obvio señalar que su utilización debe ser bajo supervisión profesional. Los posibles beneficios buscados a partir de una exposición a hipoxia intermitente (activa o pasiva) se obtendrían en la mejora del rendimiento en resistencia: parámetros centrales (cardiovasculares-respiratorios) y periféricos (musculares-enzimáticos), aumentando tanto la capacidad aeróbica como anaeróbica. A tal efecto, también cabe destacar la posibilidad de que existan sujetos con mala tolerancia o baja sensibilidad (malos respondedores) a la altitud. En este caso el efecto no sería positivo, aunque no se han descrito efectos negativos sobre la salud. Por otra parte, se han descrito diferentes modelos de exposición intermitente a hipoxia (intensos y breves o largos y ligeros) que han resultado igualmente eficaces al menos en la inducción de respuestas hematopoyéticas⁴⁷ (tabla 1).

La introducción de esta metodología en la periodización anual debería producirse siempre en periodos específicos de la temporada y en paralelo al entrenamiento grupal (técnico-táctico específico).

Según Bangsbo⁴⁴, la prioridad del entrenamiento en la temporada se resume en:

- Entrenamiento aeróbico: máxima prioridad en la pretemporada. De baja a alta intensidad. Durante la temporada existe un mantenimiento entre máxima prioridad (alta intensidad) y moderada-alta prioridad (baja intensidad).

- Entrenamiento anaeróbico: en la pretemporada (velocidad y resistencia a la velocidad). De muy baja prioridad a máxima prioridad al final de la pretemporada. Durante la temporada la velocidad es de máxima prioridad y la resistencia a la velocidad, entre alta y máxima.
- El entrenamiento de fuerza durante la temporada es entre bajo y alto, pero nunca máximo.
- La flexibilidad es siempre alta prioridad durante toda la temporada.

Las intervenciones de exposición a hipoxia deberían coincidir con ciclos de preparación especial o con los periodos en los que el jugador se encuentra lesionado. Deberían introducirse en ciclos de carga y con alta intensidad específica sobre las cualidades específicas aeróbicas y anaeróbicas, pudiéndose utilizar el entrenamiento de fuerza simultáneamente a la hipoxia para poder lograr un entrenamiento más completo y específico.

Se proponen 3 fases en las que podría ser útil la introducción de carga externa a través del uso de la hipoxia:

- Parte inicial de la temporada: fase intensiva de la pretemporada como un estímulo superior y máximo de trabajo sobre la resistencia.
- Fase central de la temporada: a nivel individual sobre jugadores con necesidades de potenciación de la condición física. En función de la especificidad de cada jugador podrían introducirse ciclos de carga intensa en fases de descanso de competición (periodos de inactividad superiores a 4 o 5 días: navidades-festivos).
- Fase final de la temporada o en periodos después de lesión-inactividad. Como método de entrenamiento que posibilite la intensificación de la carga externa sin necesidades específicas de transferencia a la competición. Como método de mantenimiento de la condición física y/o mantenimiento de procesos adaptativos continuos.

Conclusiones

A partir de lo expuesto en este trabajo, se concluye que el uso del entrenamiento en hipoxia en el fútbol competitivo de alto nivel podría ser beneficioso y positivo como método de mejora del rendimiento físico (no técnico-táctico) y en el mantenimiento del nivel físico adquirido en procesos de lesión o rehabilitación. Dada la escasa información disponible sobre esta temática que oriente a su utilización y prescripción, son necesarios más estudios que permitan completar la información disponible sobre la aplicación de esta metodología en los deportes colectivos. Se ha descrito el menor rendimiento fisiológico (menor $VO_2\max$) en altitud superior a 2.000 m sin una aclimatación previa. Las diferentes metodologías de aplicación en el fútbol no han sido descritas, pero existen propuestas —como el *live high-training low* aplicado en deportes de resistencia aeróbica individual— con resultados positivos. La mejora del metabolismo anaeróbico con el entrenamiento en hipoxia se mantiene inconcluso por la gran variabilidad de estudios y resultados en este campo. El uso individual de deportistas para mejorar su rendimiento individual sería prescrito atendiendo a los estudios que refieren mejoras específicas del metabolismo aeróbico y anaeróbico en deportistas

altamente entrenados. Se requieren estudios aplicados de campo en deportes colectivos que incidan en la periodización del entrenamiento y en su aplicación en deportistas lesionados como estímulo superior para mantener estados de forma.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de intereses.

Bibliografía

1. Bonetti DL, Hopkins WG. Sea-level exercise performance following adaptation to hypoxia: A meta-analysis. *Sports Med.* 2009;39:107–27.
2. Weston AR, Mubambo Z, Myburgh KH. Running economy of African and Caucasian distance runners. *Med Sci Sports Exerc.* 2000;32:1130–4.
3. Skinner JS, McLellan TH. The transition from aerobic to anaerobic metabolism. *Res Q Exerc Sport.* 1980;51:234–48.
4. Buskirk ER, Mendez J. Nutrition, environment and work performance with special reference to altitude. *Fed Proc.* 1967;26:1760–7.
5. Levine BD, Stray-Gundersen J. A practical approach to altitude training: Where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med.* 1992;13 Suppl 1:S209–12.
6. Tabata I, Irisawa K, Kouzaki M, Nishimura K, Ogita F, Miyachi M. Metabolic profile of high intensity intermittent exercises. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:390–5.
7. Tabata I, Nishimura K, Kouzaki M, Hirai Y, Ogita F, Miyachi M, et al. Effects of moderate-intensity endurance and high-intensity intermittent training on anaerobic capacity and $VO_2\max$. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:1327–30.
8. Meeuwse T, Hendriksen IJ, Holewijn M. Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol.* 2001;84:283–90.
9. Gamble P. Physical preparation of elite level rugby union football players. *Strength and Conditioning Journal.* 2004;26:10–23.
10. Urdampilleta A, Álvarez-Herms J, Martínez Sanz JM, Corbi F, Roche E. Readaptación física en futbolistas mediante vibraciones mecánicas e hipoxia. *Rev int med cienc act fis deporte.* En prensa 2012.
11. Álvarez-Herms J, Julià-Sánchez S, Corbi F, Pagès T, Viscor G. Changes in heart rate recovery index after a programme of strength/endurance training in hypoxia. *Apunts Med Sport.* 2012;47:23–9.
12. Saltin B. Exercise and the environment: Focus on altitude. *Res Q Exerc Sport.* 1996;67 Suppl 3:S1–10.
13. Wilber RL. Current trends in altitude training. *Sports Med.* 2001;31:249–65.
14. Banister EW, Woo W. Effects of simulated altitude training on aerobic and anaerobic power. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1978;38:55–69.
15. Terrados N, Melichna J, Sylven C, Jansson E, Kaijser L. Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1988;57:203–9.
16. Nummela A, Rusko H. Acclimatization to altitude and normoxic training improve 400-m running performance at sea level. *J Sports Sci.* 2000;18:411–9.
17. Katayama K, Matsuo H, Ishida K, Mori S, Miyamura M. Intermittent hypoxia improves endurance performance and submaximal exercise efficiency. *High Alt Med Biol.* 2003;4:291–304.
18. Ogura Y, Katamoto S, Uchimaru J, Takahashi K, Naito H. Effects of low and high levels of moderate hypoxia on anaerobic energy

- release during supramaximal cycle exercise. *Eur J Appl Physiol.* 2006;98:41-7.
19. Martino M, Myers K, Bishop P. Effects of 21 days training at altitude on sea-level anaerobic performance in competitive swimmers. *Med Sci Sports Exerc.* 1996;27:55.
 20. Wolski LA, McKenzie DC, Wenger HA. Altitude training for improvement in sea level: Is there scientific evidence of benefit? *Sports Med.* 1996;22:251-63.
 21. Bailey DM, Davies B. Physiological implications of altitude training for endurance performance at sea level: A review. *Br J Sports Med.* 1997;31:183-90.
 22. Hendriksen IJ, Meeuwse T. The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: A cross-over study in humans. *Eur J Appl Physiol.* 2003;88:396-403.
 23. McLellan TM, Kavanagh MF, Jacobs I. The effect of hypoxia on performance during 30 s or 45 s of supramaximal exercise. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.* 1990;60:155-61.
 24. Weyand PG, Lee CS, Martinez-Ruiz R, Bundle MW, Bellizzi MJ, Wright S. High-speed reductions in aerobic power. *J Appl Physiol.* 1999;86:2059-64.
 25. Stathis C, Febbraio M, Carey M, Snow RJ. Influence of sprint training on human skeletal muscle purine nucleotide metabolism. *J Appl Physiol.* 1994;76:1802-9.
 26. Noakes TD. Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2000;10:123-45.
 27. Mizuno M, Juel C, Bro-Rasmussen T. Limb skeletal muscle adaptation in hypoxia. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:264-8.
 28. Desplanches D, Hoppeler H, Linossier MT, Denic X, Claassen H, Dormois D, et al. Effects of training in normoxic and normobaric hypoxia on human muscle ultrastructure. *Pflugers Arch.* 1993;425:263-7.
 29. Melissa L, MacDougall JD, Tarnopolsky MA, Cipriano N, Green HJ. Skeletal muscle adaptations to training under normobaric hypoxic versus normoxic conditions. *Med Sci Sports Exerc.* 1997;29:238-43.
 30. Vogt M, Puntschart A, Geiser J, Zuleger C, Billeter R, Hoppeler H. Molecular adaptations in human skeletal muscle to endurance training under simulated hypoxic conditions. *J Appl Physiol.* 2001;91:173-82.
 31. Bartsch P, Saltin B, Dvorak J, Federation Internationale de Football Association. Consensus statement on playing football at different altitude. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18 Suppl 1:96-9.
 32. Demo R, Senestrari D, Ferreyra JE. Young football players aerobic performance in sub-maximum exercise with exhaustion at a moderate altitude without acclimation: Experience in el condor. *Rev Fac Cien Med Univ Nac Cordoba.* 2007;64:8-17.
 33. Levine BD, Stray-Gundersen J, Mehta RD. Effect of altitude on football performance. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18 Suppl 1:76-84.
 34. Brutsaert TD, Araoz M, Soria R, Spielvogel H, Haas JD. Higher arterial oxygen saturation during submaximal exercise in Bolivian aymara compared to European sojourners and Europeans at high altitude. *Am J Phys Anthropol.* 2000;113:169-81.
 35. Brutsaert TD, Spielvogel H, Soria R, Caceres E, Buzenet G, Haas JD. Effect of developmental and ancestral high-altitude exposure on VO₂ peak of Andean and European/North American natives. *Am J Phys Anthropol.* 1999;110:435-55.
 36. Katayama K, Goto K, Ishida K, Ogita F. Substrate utilization during exercise and recovery at moderate altitude. *Metabolism.* 2010;59:959-66.
 37. Gore CJ, McSharry PE, Hewitt AJ, Saunders PU. Preparation for football competition at moderate to high altitude. *Scand J Med Sci Sports.* 2008;18 Suppl 1:85-95.
 38. Rodriguez FA, Casas M, Casas H, Pages T, Rama R, Ricart A, et al. Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Med Sci Sports Exerc.* 1999;31:264-8.
 39. Rodriguez FA, Ventura JL, Casas M, Casas H, Pages T, Rama R, et al. Erythropoietin acute reaction and haematological adaptations to short, intermittent hypobaric hypoxia. *Eur J Appl Physiol.* 2000;82:170-7.
 40. Ricart A, Casas H, Casas M, Pages T, Palacios L, Rama R, et al. Acclimatization near home? Early respiratory changes after short-term intermittent exposure to simulated altitude. *Wilderness Environ Med.* 2000;11:84-8.
 41. Helgerud J, Engen LC, Wisloff U, Hoff J. Aerobic endurance training improves soccer performance. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33:1925-31.
 42. Mohr M, Krustup P, Bangsbo J. Fatigue in soccer: A brief review. *J Sports Sci.* 2005;23:593-9.
 43. Reilly T, Bangsbo J, Franks A. Anthropometric and physiological predispositions for elite soccer. *J Sports Sci.* 2000;18:669-83.
 44. Bangsbo J. Energy demands in competitive soccer. *J Sports Sci.* 1994;12(Spec. No):S5-12.
 45. Vogt M, Hoppeler H. Is hypoxia training good for muscles and exercise performance? *Prog Cardiovasc Dis.* 2010;52:525-33.
 46. Fujimaki T, Asano K, Mizuno K, Okazaki K. Effect of high-intensity intermittent training at simulated altitude on aerobic and anaerobic capacities and response to supramaximal exercise. *Adv Exerc Sports Physiol.* 1999;5:61-70.
 47. Casas M, Casas H, Pages T, Rama R, Ricart A, Ventura JL, et al. Intermittent hypobaric hypoxia induces altitude acclimation and improves the lactate threshold. *Aviat Space Environ Med.* 2000;71:125-30.