



## REVISIÓ

## Aplicacions potencials de l'entrenament d'hipòxia en el futbol<sup>☆</sup>

Jesús Álvarez-Herms<sup>a,\*</sup>, Sonia Julià-Sánchez<sup>a</sup>, Aritz Urdampilleta<sup>b</sup>, Francesc Corbi<sup>c</sup>,  
Ginés Viscor<sup>a</sup>

<sup>a</sup> *Departament de Fisiologia i Immunologia, Universitat de Barcelona, Barcelona, Espanya*

<sup>b</sup> *Departamento de Nutrición, Facultad de Farmacia, Universidad del País Vasco, Vitòria-Gasteiz, Espanya*

<sup>c</sup> *Facultat de Ciències de l'Activitat Física i l'Esport - Institut Nacional d'Educació Física de Catalunya, Centre de Lleida, Universitat de Lleida, Lleida, Espanya*

Rebut el 29 de novembre de 2011; acceptat el 26 de març de 2012

### PARAULES CLAU

Hipòxia;  
Futbol;  
Fisiologia;  
Entrenament

**Resum** L'entrenament en hipòxia no és una pràctica freqüent en el futbol professional, tot i que la millora del rendiment físic que se n'obté pugui ser rellevant en la preparació i la recuperació física. El caràcter d'esforç intermitent que defineix el futbol requereix que el jugador es recuperi al més ràpidament possible entre esforços d'alta i baixa intensitat. En un estudi previ realitzat per aquest grup d'investigació es constatà una millora significativa de la freqüència cardíaca de recuperació des de l'esforç màxim després de realitzar un protocol d'entrenament de força-resistència en hipòxia intermitent. Semblantment, els beneficis fisiològics de l'exposició i entrenament en hipòxia podrien augmentar el rendiment individual dels jugadors de futbol. Aquest estudi pretén revisar la bibliografia publicada sobre el tema i l'ús i les aplicacions possibles de l'entrenament en hipòxia en el rendiment físic del futbol.

© 2011 Consell Català de l'Esport. Generalitat de Catalunya. Publicat per Elsevier España, S.L. Tots els drets reservats.

### KEYWORDS

Hypoxia;  
Football;  
Physiology;  
Training

### 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 this research group a significant improvement was found in

<sup>☆</sup>La temàtica d'aquest article fou presentada al 1r Congrés de Futbol RCDE-INEFC, que tingué lloc l'1 de juny de 2011.

\*Autor per a correspondència.

Correu electrònic: [jesusalvarez80@hotmail.com](mailto:jesusalvarez80@hotmail.com), [jalvar54@xtec.cat](mailto:jalvar54@xtec.cat) (J. Álvarez-Herms).

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.

## Introducció

En els últims anys, els mètodes utilitzats en futbol professional han evolucionat considerablement i n'han millorat l'àrea condicional, la recuperació, la preparació psicològica, la prevenció de lesions i la rehabilitació. Paral·lelament, l'exposició a la hipòxia (aguda, crònica, intermitent, real, simulada, activa o passiva) és utilitzada com a mètode d'entrenament per millorar el rendiment fisicoesportiu. Malgrat això, no existeix una prescripció definitiva sobre la millor «dosi» exacta de l'ús i exposició en hipòxia, sobretot en esports de caràcter intermitent i col·lectiu. Diferents autors han analitzat gran quantitat de treballs científics d'aquesta temàtica amb resultats ambigus sobre la seva utilització<sup>1</sup>. Bonetti i Hopkins<sup>1</sup>, en un article exhaustiu de metanàlisi sobre exercici físic en hipòxia, descriuen un consens sobre la prescripció d'exercici per millorar el rendiment aeròbic però argumenten discrepàncies en el possible efecte de l'entrenament anaeròbic i intermitent.

L'esport col·lectiu, a diferència de l'esport individual, està integrat en un sistema tecnicotàctic de conjunt en què el rendiment final no està necessàriament relacionat amb variables fisiològiques, anatòmiques o mecàniques, tot i que sembla que en rep una influència positiva.

L'interès científicoesportiu de l'estudi fisiològic de la resposta a l'altitud s'inicià quan irrompí sorprenentment en el panorama esportiu en els Jocs Olímpics de Mèxic de 1968<sup>2</sup>, a partir dels grans èxits assolits en les proves de fons pels atletes africans residents en zones d'altitud moderada (1.800-3.000 m sobre el nivell del mar).

Aquesta situació ha afavorit que es generi un interès especial entre la comunitat científicoesportiva per estudiar els possibles factors que permetin explicar l'increment del rendiment dels atletes que viuen en altitud respecte als que ho fan en normòxia, tot relacionant en última instància els efectes de l'altitud amb un increment del rendiment. Aquesta afirmació no pot considerar-se definitiva, perquè els factors del rendiment esportiu final són múltiples (motivació, ambient esportiu, mentalitat...). Hi ha nombroses hipòtesis sorgides al llarg dels anys que intenten explicar aquesta millora i s'han descrit, des d'un punt de vista científic, canvis fisiològics orgànics en l'ésser humà després de l'exposició a diferents altures<sup>2</sup>.

L'organisme humà obté energia a través de processos metabòlics aeròbics i anaeròbics<sup>3</sup>, i la resposta metabòlica és diferent en funció de la intensitat de l'estímul. La capacitat de rendiment físic en hipòxia disminueix lleugerament a mesura que augmenta l'altitud a què es realitza l'activitat física<sup>4</sup>. Hi ha un cert consens científic sobre la utilitat

dels efectes de l'exposició a l'altura en el rendiment esportiu predominantment aeròbic<sup>5</sup> i se n'ha estès la utilització a l'entrenament esportiu en proves de mig fons i fons de caràcter individual (ciclisme, atletisme, triatló, rem...). En canvi, l'entrenament en hipòxia per millorar els efectes de l'entrenament anaeròbic ha estat menys estudiat: els estudis difereixen en el protocols i els mesuraments, i per això n'és més controvertida l'aplicació. Tot i que alguns estudis argumenten efectes positius sobre el rendiment anaeròbic<sup>6-8</sup>.

La periodització anual en el futbol requereix una estructuració diferent a la utilitzada en els esports de rendiment individual. Tot i que hi ha diferents metodologies de periodització del futbol en funció dels diferents mètodes i sistemes de joc utilitzats, tots pretenen aconseguir el manteniment d'un rendiment alt (però no màxim) durant el màxim temps possible, al llarg de la temporada<sup>9</sup>, amb pics de forma puntuals en funció dels objectius esportius.

L'objectiu d'aquest treball és realitzar una anàlisi dels efectes de l'entrenament físic amb exposició a hipòxia (intermitent, crònica, aguda, real o simulada) i la possible aplicació en el futbol, per tal de maximitzar el rendiment físic individual. S'ha revisat i analitzat un nombre important de publicacions científiques de rellevància relacionades amb el rendiment esportiu en general, per justificar i resumir els aspectes positius i negatius (fisiològics, mecànics i perceptius) que podrien esdevenir en ser aplicats a l'entrenament del futbol.

En el camp de la rehabilitació i/o recuperació d'estats de lesió i inactivitat, l'aplicació de l'entrenament en hipòxia en períodes de recuperació o en jugadors lesionats també pot resultar interessant per mantenir estats de forma més elevats o com a mitjà per facilitar la reintroducció del jugador lesionat en la dinàmica grupal al més aviat possible després de períodes d'inactivitat<sup>10</sup>. Sobre aquest darrer punt Álvarez-Herms et al.<sup>11</sup> comprovaren en un grup d'esportistes que l'entrenament de força-resistència en hipòxia hipobàrica els millorava la freqüència cardíaca de recuperació i la capacitat anaeròbica làctica en un exercici màxim, en comparació amb un grup control en normòxia. Aquest aspecte és important perquè els jugadors lesionats puguin entrenar (força, reeducació postural, exposició passiva a l'altitud...) en la fase de baixa i, mitjançant l'estímul extern i perceptivofisiològic augmentat de la hipòxia (que augmenta les necessitats metabòliques i adaptatives), compensar aquesta manca d'estímuls intensius específics. En aquest cas l'objectiu consisteix en tornar a la dinàmica del grup en millor condició física que realitzant el mateix entrenament de rehabilitació en normòxia<sup>10</sup>.

En l'alt rendiment esportiu és clau el terme de l'especificitat de l'entrenament. Sobretot ho és en la potenciació de l'entrenament esportiu professional, i per això cal tenir en compte l'aplicació de noves metodologies adaptables, de cara a millorar els sistemes d'entrenament.

## Estat de la qüestió

### Anàlisi científica de la fisiologia i la hipòxia

A partir dels resultats de diferents estudis científics s'han descrit canvis fisiològics relacionats amb l'exposició a l'altitud (real o simulada, crònica, aguda o intermitent). De la bibliografia analitzada en aquest estudi es descriuen com a resum els punts següents:

1. Existència d'un *acord global sobre la utilitat de l'entrenament aeròbic* a baixa altitud combinat amb la residència en altitud moderada per millorar el rendiment físic a nivell del mar (*living high-training low*)<sup>5,12,13</sup>.
2. Diverses investigacions conclouen que amb curts períodes d'exposició s'aprecien millores en el rendiment anaeròbic, tanmateix hi ha menys investigacions conclouents sobre els efectes de l'entrenament anaeròbic en hipòxia<sup>8,14-18</sup>.
3. Aquesta millora del metabolisme anaeròbic en hipòxia<sup>19-22</sup> pot ser deguda a una potenciació de la via anaeròbica per una contribució energètica major de la via en hipòxia<sup>18,23,24</sup> i a una resposta més eficient als processos limitants de l'exercici en anaerobiosi (efecte tampó [*buffer*] i resposta a l'estrès)<sup>25,26</sup>.
4. En els exercicis d'un nombre d'imitacions mantingudes i/o repetides en el temps (llançaments d'handbol, xuts de futbol, esprints continus...) i el nivell d'eficàcia dels quals ha de mantenir-se fins a l'últim moment, pot veure's afectat el rendiment per una disminució en l'aportació d'energia i per una limitació en la capacitat de manteniment de la intensitat requerida. Per això, la major intensitat relativa, la major especificitat<sup>27</sup>, la major resposta a l'anaerobiosi (*buffer*), l'augment de la citratosintasa<sup>15</sup> i de la mioglobina<sup>28</sup>, un augment del nombre de capil·lars amb l'entrenament en hipòxia<sup>29</sup> i els canvis en expressió de gens PFK per via anaeròbica en hipòxia<sup>30</sup> poden tenir efectes positius sobre la capacitat de repetir determinats gestos esportius.
5. La millora en la recuperació de la freqüència cardíaca màxima des d'exercicis màxims és un paràmetre fisiològic positiu en esports amb caràcter d'esforç intermitent en què és primordial la recuperació entre esforços màxims. Referent a això, Álvarez-Herms et al.<sup>11</sup> trobaren millores en l'índex de recuperació de la freqüència cardíaca màxima des d'exercici màxim en subjectes que havien entrenat força-resistència en hipòxia intermitent (12 sessions durant 4 setmanes a 2.500 m) respecte als que havien entrenat equitativament en normòxia. Això pot ser fonamental per augmentar la competència dels futbolistes amb l'increment del nivell de rendiment.

## Hipòxia i futbol

Paral·lelament a l'anàlisi i descripció de la bibliografia existent sobre entrenament esportiu i hipòxia, s'ha realitzat una recerca en diferents bases de dades científicomèdiques (Medline, Sportdiscus i Google Scholar) sobre la utilització de la hipòxia i les condicions d'adaptació i de joc en el futbol. S'acotaren quatre paraules clau: «hipòxia», «futbol», «entrenament» i «aclimatació». La recerca es realitzà amb les paraules clau en anglès. Es descartaren els articles no relacionats amb l'entrenament i competència en altitud, aclimatació i/o consens científic. Es revisaren exhaustivament un total de 12 articles específics sobre futbol i hipòxia.

En aquesta revisió s'ha constatat que hi ha controvèrsia sobre la possibilitat de prohibir la competició de futbol quan s'hagi de desenvolupar a determinada altitud, perquè en pot dificultar el rendiment físic o fins i tot la salut. Per això, s'ha analitzat la resposta organico-fisiològica amb la intenció d'obtenir informació que permeti arribar a un posicionament<sup>31</sup>.

S'ha descrit que competir en futbol a una altitud moderada i sense aclimatació prèvia redueix el rendiment físic i augmenta la percepció subjectiva d'esforç, i pot influir negativament en la vessant psicològica de l'esportista<sup>32</sup>. Levine et al.<sup>33</sup> descrigueren que el jugador de futbol, com qualsevol esportista, té un descens del  $VO_{2max}$  (rendiment aeròbic) quan competeix a una altitud moderada, amb un augment de la intensitat relativa d'esforç i manifestant una menor capacitat de recuperació de la via dels fosfàgens. Aquest aspecte pot disminuir la capacitat de realitzar accions repetides d'alta intensitat. Això és clau, donada la naturalesa de l'execució específica del futbol, en què una gran part d'aquestes accions tenen un component tècnic important. Això és degut a una dificultat major per captar oxigen de l'ambient i transportar-lo a les mitòcondries musculars, la qual cosa es reflecteix en un descens en la saturació d'oxigen arterial, que provoca una acidificació major del mitjà intern muscular.

Sense aclimatació, a mesura que augmenta l'altitud existeixen respostes fisiològiques immediates —l'augment de la freqüència cardíaca i de la ventilació fins i tot en repòs— com a mecanisme compensatori<sup>34,35</sup>. A més, tal com s'ha descrit anteriorment, el metabolisme anaeròbic augmenta el protagonisme i en conseqüència la utilització de glucosa com a substrat principal, i tendeix a l'esgotament precoç de les reserves, cosa que condiciona el rendiment final de l'esportista. Curiosament, aquesta major explotació de reserves glucolítiques es tradueix en determinats beneficis en la prevenció de patologies com la diabetis mellitus, la resistència a la insulina i la síndrome metabòlica, amb l'aplicació de l'entrenament físic en altitud moderada (1.700-2.400 m)<sup>36</sup>. En relació amb aquest últim punt, caldria tenir en compte estratègies nutricionals per a la competència i l'entrenament en altitud.

Amb aquestes premisses, s'han descrit alguns desavantatges d'equips no aclimatats a l'altitud quan competeixen en altituds superiors als 2.000 m. En destaquen l'aparició del mal agut de muntanya, la son irregular, un augment de

la freqüència cardíaca basal i de la producció de lactat, i un descens (depenent de l'altitud i de la tolerància individual a la hipòxia) de fins al 25% del  $VO_{2max}$ <sup>37</sup>. Enfront a aquests efectes, es proposa l'aclimatació prèvia com a mètode per millorar la salut i el rendiment físic en altitud. L'ús de la hipòxia intermitent com a mètode de preparació de la competició en altitud s'ha proposat com a vàlid en el rendiment físic de resistència aeròbica i anaeròbica<sup>38-40</sup>. A més, la resposta individual pot accentuar la intolerància a l'altitud.

Tot i que els paràmetres fisiològics aconseguits en un partit de futbol no són tan elevats com els aconseguits en alguns esports individuals, la millora que es pot obtenir amb els beneficis de l'entrenament en hipòxia pot fer augmentar la competència tecnicotàctica del jugador per un augment de la capacitat. En aquest cas, Helgerud et al.<sup>41</sup>, en estudiar jugadors juvenils de la selecció noruega de futbol, observaren que una millora del 10% del  $VO_{2max}$  es correlacionava amb un increment del 20% de la distància recorreguda en el partit i d'un 100% en el nombre d'esprints realitzats. Quan comparem el rendiment en altitud de jugadors aclimatats i no aclimatats, es constaten diferències clares que poden influir en el resultat final. Hem d'assumir que això és molt relatiu en funció del nivell específic dels equips (tecnictàctic).

### L'encaix de la intervenció en hipòxia intermitent en la periodització anual

Tal com s'ha descrit<sup>42-44</sup>, el futbol és un esport complex en què el rendiment final depèn de processos tècnics, tàctics, psicològics i factors socials.

Els possibles beneficis que provoca l'estímul d'exposició a la hipòxia (taula 1) han estat descrits anteriorment, bé que potser l'augment de sensibilitat al propi estímul adaptatiu sigui el més interessant. Referent a això, el teixit muscular respon a la hipòxia incrementant l'expressió de gens induïts per la hipòxia com a resposta compensatòria<sup>45</sup>. Aquest aspecte és important perquè estimula la capacitat de resposta muscular davant nous estímuls i exerceix una resposta d'aclimatació que potencia les perspectives de resposta davant desequilibris homeostàtics (base de la millora del rendiment esportiu).

En un estudi previ, Álvarez-Herms et al.<sup>11</sup> observaren que quan l'exercici realitzat en hipòxia és de tipus explosiu, la potència màxima no disminueix (en comparació al mateix exercici realitzat en normòxia) i no es veu afectada la capacitat anaeròbica làctica. Tot i que la menor síntesi de fosfàgens pot afectar la recuperació generant més fatiga i acumulació de metabòlits<sup>46</sup>, aquest aspecte pot afavorir processos positius de competència física en major mesura que en normòxia (potenciació de la càrrega d'entrenament làctica)<sup>33</sup>.

Hi ha jugadors professionals que han utilitzat cambres normobàriques (exposició intermitent) tot cercant millorar el rendiment individual. És obvi assenyalar que han de ser utilitzades amb supervisió professional. Els possibles beneficis buscats a partir d'una exposició a hipòxia intermitent (activa o passiva) s'obtenen millorant el rendiment de la resistència: paràmetres centrals (cardiovasculars-respira-

**Taula 1 Potencialitats i inconvenients de l'aplicació de l'entrenament en hipòxia en el futbol**

Potencialitats	Inconvenients
Millora de la qualitat física de resistència	Manca d'estudis científics aplicats a l'esport col·lectiu
Aclimatació fisiològica i psicològica prèvia a la competència en altitud	Necessitat de protocolització específica
Millora de la resposta hematopoiètica	Cost de la maquinària
Augment de la capacitat buffer muscular	Desconeixement en la metodologia i aplicacions
Major tolerància al lactat	Dificultat d'introducció en la periodització esportiva
Resposta gènica (HIF-1) i enzimàtica específica	
Millora de la freqüència cardíaca de recuperació després d'exercici màxim	
Augment de la intensitat relativa d'esforç	
Augment de l'especificitat de la càrrega	
Possibilitat d'exposició passiva i activa durant fases de recuperació/rehabilitació com a mètode de manteniment del condicionament físic	

toris) i perifèrics (musculars-enzimàtics), augmentant tant la capacitat aeròbica com l'anaeròbica. També cal destacar la possibilitat que hi ha subjectes amb mala tolerància o baixa sensibilitat (mala resposta) a l'altitud. En aquest cas l'efecte no és positiu, tot i que no s'han descrit efectes negatius sobre la salut. D'altra banda, s'han descrit diferents models d'exposició intermitent a la hipòxia (intensos i breus o llargs i lleugers) que han resultat igualment eficaços almenys en la inducció de respostes hematopoiètiques<sup>47</sup> (taula 1).

La introducció d'aquesta metodologia en la periodització anual ha de produir-se sempre en períodes específics de la temporada i en paral·lel a l'entrenament grupal (tecnicotàctic específic).

Segons Bangsbo<sup>44</sup>, la prioritat de l'entrenament de la temporada es resumeix en:

- Entrenament aeròbic: màxima prioritat en la pretemporada. De baixa a alta intensitat. Durant la temporada hi ha un manteniment entre màxima prioritat (alta intensitat) i moderada-alta prioritat (baixa intensitat).
- Entrenament anaeròbic: en la pretemporada (velocitat i resistència a la velocitat). De molt baixa prioritat a màxima prioritat al final de la pretemporada. Durant la temporada la velocitat és de màxima prioritat i la resistència a la velocitat, entre alta i màxima.



- L'entrenament de força durant la temporada és entre baix i alt, però mai màxim.
- La flexibilitat és sempre alta prioritat durant tota la temporada.

Les intervencions d'exposició a la hipòxia haurien de coincidir amb cicles de preparació especial o amb els períodes en què el jugador està lesionat. Caldria introduir-los en cicles de càrrega i amb alta intensitat específica sobre les qualitats específiques aeròbiques i anaeròbiques, i es podria utilitzar l'entrenament de força simultàniament a la hipòxia per aconseguir un entrenament més complet i específic.

Es proposen 3 fases en les quals pot ser útil la introducció de càrrega externa a través de l'ús de la hipòxia:

- Part inicial de la temporada: fase intensiva de la pretemporada com un estímul superior i màxim de treball sobre la resistència.
- Fase central de la temporada: a nivell individual sobre jugadors amb necessitats de potenciació del condicionament físic. En funció de l'especificitat de cada jugador podrien introduir-se cicles de càrrega intensiva en fases de descans de competició (períodes d'inactivitat superiors a 4 o 5 dies: Nadal/festius).
- Fase final de la temporada o en períodes posteriors a la lesió-inactivitat. Com a mètode d'entrenament que possibiliti la intensificació de la càrrega externa sense necessitats específiques de transferència a la competició. Com a mètode de manteniment del condicionament físic i/o manteniment de processos adaptatius continus.

## Conclusions

A partir del que s'ha exposat en aquest treball, es conclou que l'ús de l'entrenament en hipòxia en el futbol competitiu d'alt nivell pot ser beneficiós i positiu com a mètode de millora del rendiment físic (no tecnicotàctic) i en el manteniment del nivell físic adquirit en processos de lesió o rehabilitació. Donada l'escassa informació disponible sobre aquesta temàtica que n'orienti l'ús i prescripció, calen més estudis que permetin completar la informació disponible sobre l'aplicació d'aquesta metodologia en els esports col·lectius. S'ha descrit el menor rendiment fisiològic (menor  $VO_{2max}$ ) en altitud superior a 2.000 m sense una aclimatació prèvia. Les diferents metodologies d'aplicació en el futbol no han estat descrites, però hi ha propostes —com el *live high-training low* aplicat a esports de resistència aeròbica individual— amb resultats positius. La millora del metabolisme anaeròbic amb l'entrenament en hipòxia es manté inconclús per la gran variabilitat d'estudis i resultats en aquest camp. L'ús per part d'esportistes individuals per millorar-ne el rendiment particular ha de ser prescrit d'acord amb els estudis que refereixen millores específiques del metabolisme aeròbic i anaeròbic en esportistes altament entrenats. Són necessaris estudis aplicats de camp en esports col·lectius que incideixin en la periodització de l'entrenament i en l'aplicació dels esportistes lesionats com a estímul superior per mantenir estats de forma.

## Conflicte d'interessos

Els autors declaren que no tenen cap conflicte d'interessos.

## Bibliografia

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, Mbambo 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  $VO_{2max}$ . *Med Sci Sports Exerc.* 1996;28:1327-30.
8. Meeuwse T, Hendriksen IJ, Holveijn 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 Fís 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 Esport.* 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 improvements in sea level performance. Is the 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 running performance is largely unaffected by hypoxic 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, Denis C, Claassen H, Dormois D, et al. Effects of training in normoxia 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 born and raised 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 VO<sub>2</sub> 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 H, Casas M, 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, Krusturup 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.