

Título de la comunicación.:

Exposición hipóxica intermitente y rendimiento deportivo. Estado de la cuestión

Nombre y apellidos del autor o autores.: Dionisio Alonso, Carlos Balsalobre, Juan del Campo, Carlos Tejero.

Centro de trabajo (Institución, Empresa, Universidad, Departamento, etc.): Universidad Autónoma De Madrid. Departamento de Educación Física, Deporte y Motricidad Humana.

Dirección postal del centro de trabajo: Ciudad Universitaria de Cantoblanco. C/ Francisco Tomás y Valiente, 3, 28049 Madrid

E-mail y teléfono de contacto dionisio.alonso@uam.es Tlf: 665231278

Área temática del Congreso a la que pertenece el trabajo: Entrenamiento.

Desarrollo del trabajo presentado:

Resumen: En la presente comunicación se pretende esclarecer algunos de los conceptos relacionados con la utilización de simuladores de altitud como medida de aumento del rendimiento deportivo, así como mostrar algunos de los estudios científicos que tratan la exposición intermitente a la hipoxia, los cuales, como se verá más adelante, no están exentos de controversias. Para ello, en primer lugar, se mostrarán las metodologías más ampliamente utilizadas en el entrenamiento, así como los distintos simuladores de altitud existentes. En segundo lugar, se expondrá una revisión bibliográfica de varios artículos científicos sobre la exposición intermitente a la hipoxia mediante dispositivos de altitud simulada encontrados en las bases de datos SPORTDiscus y MedLine para, finalmente, discutir sus resultados, mostrar unas pautas generales de tratamiento y poner de manifiesto la controversia que rodea este tipo de metodologías como mejora del rendimiento de los deportistas.

Palabras clave: entrenamiento deportivo, hipoxia intermitente, altitud, simuladores.

Abstract: In the present communication is intended to clarify some of the concepts related to the utilization of altitude's simulators to increase sports performance, and show some of the scientific studies that deal with intermittent exposure to hypoxia, which, as will be seen later, are not without controversy. To do this, first, the more used methodologies in training will be shown, as well as the different existing altitude's simulators. Secondly, a bibliographical review of several scientific articles about training with devices of simulated altitude found in the databases SPORTDiscus and MedLine will be exposed, and, finally, we will discuss his results, to show general treatment guidelines and to reveal the controversy that surrounds this type of methodologies as improvement of the performance of the sportsmen.

Keywords: sports training, intermittent hypoxia, altitude, simulators.

Introducción

La presente comunicación pretende mostrar las distintas metodologías y los diversos recursos utilizados en el entrenamiento de la resistencia en condiciones hipóxicas. Para ello, se ha realizado una revisión bibliográfica de las bases de datos SPORTDiscus y MedLine, tratando de ofrecer una síntesis de la utilización de estos métodos en el entrenamiento de la resistencia cardiovascular, utilizando las siguientes palabras clave: *hypoxic training*, *hypobaric chamber*, *normobaric hypoxia* e *intermittent hypoxia*, cruzando los resultados con *training*, *exercise* y *adaptation(physiology)*. Se ha dejado sin traducir dichas palabras clave para hacer notar que con ninguna de sus

correspondencias en castellano se obtuvieron resultados. También se han revisado algunas de las páginas webs de las empresas claves de la industria del entrenamiento en hipoxia, como CAT, Biolaster, Go2Altitud o Altitrainer.

Los beneficios que el entrenamiento en altitud tiene sobre distintas variables fisiológicas relacionadas con el rendimiento deportivo, especialmente con el sistema de aporte de oxígeno, han sido de sobra estudiados y utilizados por diversos investigadores y deportistas (Wilber, 2001; Billat, 2002; López, 2008...).

Tradicionalmente, los deportistas hacían estancias completas en altitud, en las cuales convivían y entrenaban. No obstante, en la década de los 90 surgió una nueva metodología de entrenamiento en altitud, denominada "living high-training low", o simplemente "high-low", que propone que los deportistas vivan en altitud, pero que entrenen en condiciones normales. Este método de entrenamiento en altitud tiene como supuesto que, pese a que vivir en altitud parece aumentar la producción de eritropoyetina (EPO), el hematocrito y la hemoglobina, entrenar a dichos niveles hipobáricos no aumenta el rendimiento del deportista, ya que la baja presión parcial de oxígeno en el ambiente (FiO_2) no permite alcanzar una intensidad de entrenamiento suficiente como para conseguir las adaptaciones deseadas (Levine & Stray-Gundersen, 2005; Wilber, 2001). Además, según Billat (2002), el entrenamiento en altitud debería ser, al menos, un 10% menos intenso que a nivel del mar, ya que, de lo contrario, podría aparecer el síndrome de sobreentrenamiento. Tanto es así, que Terrados, Mizuno y Andersen (1985) demostraron que el consumo de oxígeno en cicloergómetro se reduce de forma significativa en deportistas de élite a partir de 900 metros de altitud. Por lo tanto, el paradigma de entrenamiento "high-low" permite beneficiarse tanto de la convivencia en altitud como del entrenamiento a nivel normal.

Levine y Stray-Gundersen (1997; citado en Wilber, 2001) fueron los primeros en realizar un estudio sobre la metodología "high-low". En dicho estudio, 26 deportistas, 13 hombres y 13 mujeres, se dividieron en dos grupos de entrenamiento diferentes, uno basado en el método "living high-training low", en el cual los sujetos vivían a 2500 metros y entrenaban a 1250 metros, y otro control en el que vivían y entrenaban a nivel del mar. Tres días después de terminar las 4 semanas en las que consistió el entrenamiento, el grupo "high-low" presentó un incremento del 5% del hematocrito y del 9% de hemoglobina ($p < 0.05$), mientras que el grupo control no tuvo mejoras significativas. Además, el grupo de entrenamiento mostró un incremento significativo del VO_{2max} y un mejor rendimiento en la carrera de 5 km hasta 3 semanas después del entrenamiento en altitud, lo cual muestra la considerable latencia de los beneficios del entrenamiento "high-low".

Sin embargo, las estancias y los desplazamientos sistemáticos que conlleva esta metodología de entrenamiento son costosos. Por ello, este hecho, unido al avance de la tecnología, ha fomentado el desarrollo de diversos métodos que buscan simular condiciones de altitud en condiciones normobáricas, siendo las más utilizadas las cámaras y las habitaciones hipobáricas, que más adelante comentaremos, aunque también están ganando popularidad las mascarillas inhaladoras. Así, estos dispositivos de altitud simulada facilitan el acceso a condiciones de hipoxia sin desplazamientos continuos y estancias fuera del lugar de residencia habitual, pudiendo incluso los deportistas contar con uno en su propio domicilio.

De este modo, las facilidades que ofrecen las cámaras y habitaciones hipobáricas han permitido la utilización de una metodología de entrenamiento que antaño era muy difícil o imposible de realizar por problemas logísticos: la exposición intermitente a la hipoxia (EIH). La EIH se basa en que la concentración sanguínea de EPO se eleva tras una hipoxia de 90 a 120 minutos (Wilber, 2001; López, 2008), por lo que exposiciones diarias de 1.5-2 horas podrían producir las adaptaciones buscadas. La EIH tiene dos modalidades: en reposo, o durante el entrenamiento. La exposición intermitente a la hipoxia en reposo (EIHR) propone que la hipoxia se produzca en condiciones de reposo, independientemente del entrenamiento en condiciones normales que se realice, mientras que en la exposición intermitente a la hipoxia durante el entrenamiento (EIHE), la hipoxia se produce mientras el deportista está entrenándose, algo que, como ya se ha comentado no parece producir adaptaciones debido a la escasa calidad del entrenamiento que se puede realizar en estas condiciones. Estos métodos actualmente resultan controvertidos, existiendo estudios que muestran sus beneficios, pero también otros que no muestran ninguna mejora significativa en ningún parámetro relevante.

A lo largo de la presente comunicación, después de explicar muy brevemente los distintos métodos que se utilizan para simular condiciones de altitud, realizaremos una revisión bibliográfica a través de la cual se mostrarán los resultados de algunos de los estudios sobre EIH llevados a cabo hasta la fecha.

Distintos métodos de simulación de altitud

Habitaciones Hipobáricas mediante nitrógeno diluido

Estos apartamentos, creados en Finlandia al principio de los 90s del siglo XX, simulan una condición hipóxica de aproximadamente 2000 a 3000 metros de altitud, pero manteniendo una presión atmosférica similar a la del nivel del mar (≈ 760 mm Hg), de ahí que se denominen también *apartamentos de hipoxia normobárica* (Wilber, 2001).

Para conseguirlo, se introduce en la habitación gas comprimido al 100% de N_2 a través de unos sistemas de ventilación (en condiciones normales, el aire ambiental posee aproximadamente un 20.9% de O_2 y un 78% de N_2), con lo que se consigue reducir el porcentaje de oxígeno a un 15%, logrando la condición de hipoxia deseada.

Cámaras hipobáricas

Las cámaras hipobáricas simulan condiciones hipobáricas de hasta 6.000 metros de altitud. Funcionan gracias a un dispositivo que extrae y filtra el O_2 del aire de la cámara, y que posteriormente introduce de nuevo con la presión parcial de oxígeno reducida al nivel que se desee. También se denominan dispositivos hipóxicos para dormir, dada su facilidad de montaje (sin obras) y sus reducidas dimensiones.

Dispositivos inhaladores

Estos modernos dispositivos dan un paso más, y permiten la inhalación de aire con bajo porcentaje de oxígeno, según la altura que se desee simular, en cualquier lugar y sin instalaciones. Gracias a ello, el deportista podrá exponerse

a la hipoxia en su propio domicilio, ya sea sentado en el sofá, o ejercitándose en su ergómetro.

La controversia de la hipoxia: Estado de la cuestión

A día de hoy, son muchos los estudios realizados sobre la eficacia del entrenamiento en condiciones simuladas de altitud (Wilber, 2001; Böning, 2002; Bonetti & Hopkins, 2009), siendo la metodología “living high- training low” la más tratada y aceptada. No obstante, la metodología inversa, “living low-training high”, o exposición intermitente a la hipoxia durante el entrenamiento está siendo muy estudiada (Katayama, Sato, Ishida, Mori & Miyamura, 1998; Meeuwsen et al., 2001; Hendriksen & Meeuwsen, 2003), aunque con resultados controvertidos. Por último, cabe destacar que algunos autores (Milletts, Roels, Schmitt, Woorons & Richalet, 2010) prefieren utilizar un método combinado, al que han llamado “living high- training high and low”, que trata de utilizar los beneficios de las dos metodologías antes citadas.

En este sentido, Mori et al. (1996) realizaron un estudio con 6 montañistas amateurs, quienes se ejercitaron en una cámara hipobárica con una bicicleta estática, 40 min. al día, dos veces a la semana, durante tres semanas, realizando el resto de su vida diaria en condiciones normobáricas. El análisis de diferencias pre test-post test en las principales variables fisiológicas, tales como el hematocrito, la hemoglobina o distintos valores respiratorios no mostró mejoras significativas en ninguno de estos parámetros.

No obstante, Katayama et al. (1998) encontraron mejoras significativas en el VO_{2max} en 7 sujetos, después de 30 minutos de ejercicio diario durante 6 días a una altitud simulada de 4.500 metros, aunque éstas podrían deberse al mero entrenamiento y no al hecho de realizarlo en altitud, dado que el grupo control, en lugar de entrenarse en condiciones normobáricas, simplemente no entrenó.

Meeuwsen, Hendriksen y Holwijn (2001) realizaron un estudio con grupo control, en el que 8 triatletas de élite entrenaron 2 horas diarias en un cicloergómetro situado en una cámara hipobárica simulando 2.500 metros de altitud, mientras que otros 8 realizaron el mismo entrenamiento al nivel del mar. Después de 10 días de entrenamiento en hipoxia, el grupo experimental aumentó significativamente su VO_{2max} en un 7%, así como la potencia media, la potencia total desarrollada y el pico de potencia en el Test Anaeróbico de Wingate. Según estos datos, el entrenamiento en hipoxia produce beneficios tanto en los sistemas aeróbico y anaeróbico.

También Terrados, Melichna, Sylven, Jansson y Kaijser (1988) observan mejoras significativas en el rendimiento mediante entrenamiento en altitud simulada. Ocho ciclistas se repartieron en dos grupos, uno control, en el que se entrenaba a nivel del mar, y otro en el que se entrenaba en altitud. Ambos grupos realizaron la misma sesión de entrenamiento en cicloergómetro durante 3 a 4 semanas, 4 ó 5 sesiones a la semana, con una duración de aproximadamente 2 horas. Después del periodo de entrenamiento, el grupo de altitud mostró un incremento del 33% en el rendimiento en altitud, no encontrándose diferencias significativas entre los dos grupos en el rendimiento a nivel del mar. Por lo tanto, estos datos muestran que la exposición a la hipoxia en ejercicio puede ser beneficiosa para las pruebas en altitud, pero que no difiere del entrenamiento normal en las mejoras a nivel del mar.

Además, algunos estudios, como el de Hendriksen y Meeuwsen (2003), muestran mejoras significativas en algunas variables relacionadas con el sistema de aporte de energía anaeróbico después de realizar un entrenamiento

en hipoxia. Después de 2 horas diarias de entrenamiento en bicicleta estática en una cámara hipobárica simulando 2.500 metros de altitud, durante 10 días, los participantes mostraron incrementos significativos en la potencia total desarrollada, la potencia anaeróbica media y el pico de potencia anaeróbica del Test de Wingate.

Así, como analizan Gore, Clark y Saunders (2007), hay algunas variables no hematológicas que mejoran el rendimiento deportivo, y que pueden mejorarse con la exposición a la hipoxia, tales como la densidad mitocondrial, la capacidad de buffering del músculo esquelético o la tolerancia a la producción de ácido láctico.

De igual modo, Beidleman et al. (2008; en Faria, 2009), afirman que, de acuerdo con los resultados de su estudio, 7 días de exposición intermitente a la hipoxia en reposo (4 horas al día, 5 días a la semana) a una altitud simulada de 4.300 metros, aumenta el rendimiento en la prueba de contrarreloj en ciclistas amateurs.

También Hamlin y Hellemans (2007) reportan beneficios asociados a la hipoxia intermitente en reposo. En su estudio participaron 22 deportistas no profesionales, de distinta disciplina y habilidad, los cuales fueron divididos en dos grupos: experimental y control. Los sujetos pertenecientes al grupo experimental inhalaban aire con oxígeno de un 13% a un 10% durante 5 minutos, seguido de otros 5 minutos de aire normal, durante 90 minutos en total, 5 días a la semana, durante 3 semanas. Los participantes del grupo control siempre inhalaban aire normal. Después de las tres semanas de exposición, el grupo experimental mejoró significativamente su marca en la prueba de carrera de 3.000 metros, la cual fue medida antes de empezar el tratamiento para establecer la línea base, respecto al grupo control.

Tratando de encontrar el protocolo más rápido y efectivo para aplicar la hipoxia intermitente en reposo, Casas et al. (2000) realizaron un estudio en el que 31 sujetos, repartidos en tres grupos, realizaron protocolos distintos de exposición a la hipoxia (simulando de 4000 a 5500 metros), durando el más largo 17 sesiones, y el más corto 9. Al finalizar el estudio, los resultados obtenidos mostraron que, si bien todos los protocolos mejoraban variables hematológicas, como el número de hematíes y reticulocitos, el más eficiente de todos ellos, en relación a los resultados y a los días de exposición, fue el protocolo B (9 días, de 3 a 5 horas al día, sumando un total de 31 horas de exposición).

Por su parte, en Rodríguez et al. (1999) se estudió si una exposición muy corta a la hipoxia mejoraba la resistencia aeróbica. Diecisiete sujetos pertenecientes a un grupo de expedición de gran altitud fueron divididos en dos grupos. En uno, los participantes fueron expuestos a hipoxia hipobárica, simulando altitudes de 4000 a 5500 metros en progresión creciente, durante 9 días, de 3 a 5 horas al día. El otro grupo, siguiendo el mismo protocolo, además, se ejercitó a baja intensidad en cicloergómetro. El análisis estadístico no mostró diferencias significativas en ninguna de las variables estudiadas entre los dos grupos y, además, se observó un incremento significativo en la hemoglobina, hematíes y reticulocitos, por lo que estos datos apoyan la exposición intermitente a la hipoxia en reposo como medida para aumentar diversas variables hematológicas relacionadas con el sistema de transporte de oxígeno.

Tratando de comprobar los efectos que la exposición intermitente a la hipoxia puede tener en pleno periodo competitivo, Villa et al. (2005) realizaron una investigación con 11 ciclistas profesionales durante la Vuelta a España 2001, 6

de los cuales (grupo de hipoxia) inhalaron aire al 12,6% de O₂, es decir, simulando 4000 metros de altitud. Los otros 5 sujetos formaron el grupo control. Se intercalaron 5 minutos de aire hipóxico con 5 minutos del aire normal de la habitación del hotel del deportista, hasta completar 20 minutos, y dicha exposición interválica se realizó cada día, después de la etapa, durante toda la Vuelta. A pesar de que no hubo efecto alguno sobre los hematíes y los reticulocitos, sí que se observó un aumento de la eritropoyetina respecto al grupo control.

Sin embargo, Trujiens et al. (2008), no han encontrado beneficios en la exposición intermitente a la hipoxia en reposo. Dividieron a los 23 participantes de su estudio en dos grupos equivalentes, uno experimental, en el que sus integrantes descansaron en una cámara hipobárica simulando de 4.000 a 5.000 metros de altitud, y otro control, en el que los participantes descansaron en la misma cámara, pero a nivel del mar, a modo de placebo, dado que el estudio se realizó a doble ciego. Estos periodos de descanso duraban 3 horas diarias para ambos grupos, 5 días a la semana durante un mes. Además, cada participante siguió realizando su entrenamiento con normalidad, siendo mínimas las diferencias del mismo entre los sujetos, pues todos tenían el mismo nivel de rendimiento, e incluso entrenaban en el mismo club o con el mismo entrenador. No obstante, después de las 4 semanas de exposición intermitente a la hipoxia, el grupo experimental no mostró ninguna mejora significativa en la economía submáxima de trabajo, medida por la frecuencia cardíaca, la concentración de ácido láctico en sangre, la ventilación y la vVO₂Max (velocidad aeróbica máxima). Cabe destacar que estos mismos autores, aunque permutando el orden de autoría, (Rodríguez et al., 2007), realizaron un estudio un año antes de las mismas características metodológicas, en el que analizaron diferencias entre los grupos control y experimental en cuanto al VO_{2max}, la frecuencia cardíaca máxima, la ventilación máxima y el VO₂ en el umbral ventilatorio, así como en el rendimiento en 100-400 metros en los nadadores, y en 3.000 metros en los corredores. Pasadas las cuatro semanas de exposición intermitente a la hipoxia, tres horas al día, cinco días a la semana, no encontraron diferencias significativas en ninguna de estas variables.

Tampoco Hinckson, Hopkins, Downey y Smith (2006) encontraron mejoras significativas en el rendimiento deportivo de siete remeros de élite tras tres semanas de hipoxia intermitente en reposo. En este estudio, se utilizó un inhalador que proporcionaba aire hipóxico durante seis minutos, seguido de cuatro minutos de aire normal, el cual utilizaron los participantes mientras permanecían sentados durante 90 minutos al día, a lo largo de 3 semanas. Los resultados obtenidos en las pruebas de 500 m., 5000 m. y de potencia, desarrollada con 4mmol/L de lactato en sangre, indican que este método no es eficaz en esta población.

Además, también algunos autores, como Aughey et al. (2005) han encontrado consecuencias negativas a la exposición intermitente a la hipoxia, utilizada durante un tiempo prolongado. Después de 23 noches consecutivas sometidos a hipoxia, los participantes mostraron reducciones significativas de Na⁺, K⁺ y de ATPasa en el músculo vasto lateral del cuádriceps.

Del mismo modo, Hoppeler, Vogt, Weibel y Flück (2003) afirman que la exposición prolongada a una hipoxia severa reduce la densidad muscular mitocondrial. Esta disminución de la capacidad de generar energía es suplida

mediante una mejora de la reutilización del ATP, lo cual podría significar una mejora del rendimiento anaeróbico en detrimento del aeróbico.

Discusión y conclusiones

Como se puede comprobar, hay una gran diversidad de resultados que muestran la variabilidad de respuestas al entrenamiento con altitud simulada que pueden tener las personas lo practiquen, ya sea en reposo o realizando actividad física, lo cual puede deberse, no obstante, a las diferencias y deficiencias metodológicas de varios estudios, así como a la heterogeneidad de las poblaciones participantes. No obstante, tratando de encontrar un consenso entre todas las metodologías de entrenamiento en altitud utilizadas por los deportistas, Bonetti y Hopkins (2009) realizaron un metaanálisis, en el que concluyeron que, por un lado, la mejor metodología para aumentar el rendimiento deportivo de los deportistas de élite es la “living high- training low” en medio natural, es decir, sin la utilización de simuladores de altitud, mientras que en los deportistas de sub-élite, tanto el método natural como el simulado (siendo la más beneficiosa la exposición intermitente a la hipoxia en reposo) es eficaz.

Por nuestra parte, y tratando de ofrecer una humilde síntesis sobre lo que hemos extraído de los artículos revisados, remitimos al lector o lectora a las Tablas 1 y 2 (ver anexo), que listan los artículos favorables y desfavorables sobre la exposición a la hipoxia que hemos revisado, así como unas pequeñas pautas generales que aparecen en todos aquellos estudios en los que la hipoxia se mostró como un medio adecuado para la mejora del rendimiento.

Como se puede apreciar, la variabilidad existente en los distintos trabajos publicados respecto a la altitud simulada, la frecuencia y la duración de la exposición dificulta enormemente el consenso y la creación de unas bases sólidas para utilizar la hipoxia para aumentar satisfactoriamente el rendimiento de los deportistas, ya que los intervalos ofrecidos en esta discreta síntesis son demasiado amplios como para ofrecer algo más que unas meras orientaciones. Pese a que son ya numerosos los estudios que tratan la exposición intermitente a la hipoxia, la variabilidad existente en los distintos trabajos publicados respecto a la frecuencia y duración de la exposición, la altitud simulada, el tipo de entrenamiento utilizado y las características de los participantes, dificulta enormemente el consenso y la creación de unas bases sólidas para utilizar la hipoxia para aumentar satisfactoriamente el rendimiento de los deportistas.

Además, la escasez de estudios con grupo control, y la presencia de variables extrañas no controladas, hace que los datos que se ofrecen puedan ser resultado de otros factores ajenos a la mera exposición a la hipoxia. Tampoco hay que olvidar el sesgo de publicación que puede existir en este campo, siendo imposible saber la cantidad de estudios que podrían no haberse publicado por no haber encontrado resultados favorables.

Existen varias deficiencias metodológicas inherentes al mundo del Alto Rendimiento Deportivo, y es que es muy complicado, si no imposible, realizar un estudio con una población lo suficientemente grande como para que el estudio tenga la suficiente validez externa o capacidad de generalización, y que además dicha investigación cuente con un grupo control de las mismas características deportivas que el grupo cuasiexperimental.

Del mismo modo, en la mayoría de los estudios no se describe la intensidad ni el nivel de entrenamiento de los participantes (pues, a nuestro juicio, hablar de élite es demasiado impreciso). Además, como indican Chapman, Stray-

Gundersen y Levine (1998), las adaptaciones a la hipoxia son individuales, existiendo, según su criterio, dos tipos de deportistas: los “responders” y los “non-responders”, es decir, aquellos a los que la hipoxia les ayuda a mejorar su rendimiento, y aquellos que no muestran respuestas favorables a estos estímulos, respectivamente.

En este sentido, Lozano (2008), afirma que para poder obtener beneficios del entrenamiento con hipoxia, se debe diseñar un programa individualizado a cada deportista, acorde a sus características y a sus respuestas fisiológicas.

Por ello, estamos todavía muy lejos del consenso en lo que respecta a las características del entrenamiento en altitud simulada, siendo necesario un profundo conocimiento del deportista y de sus respuestas a la hipoxia para decidir finalmente iniciar un programa de exposición.

No obstante, las principales empresas del sector de los simuladores de altitud se muestran muy optimistas respecto a los beneficios de la utilización de sus dispositivos para la exposición a la hipoxia, ya sea durante el entrenamiento o en reposo. Por un lado, es lógico que estas empresas traten de avalar sus productos mediante algunos estudios científicos pues, como hemos visto, efectivamente existen autores que han encontrado resultados prometedores respecto a la altitud simulada y el rendimiento deportivo; sin embargo, sus deficiencias metodológicas y la falta de uniformidad en las variables de aplicación de la hipoxia, unido a las interesantes conclusiones desprendidas del metaanálisis de Bonetti y Hopkins (2009), no nos permite compartir su entusiasmo.

Por lo tanto, creemos que todavía queda un largo camino por recorrer en el conocimiento científico antes de poder establecer unos criterios uniformes para planificar entrenamientos con exposición a la hipoxia, pues, de momento, la elección de la altitud simulada, el tipo de exposición (LHTL, EHIR, etc.), la frecuencia, la duración, el tipo de entrenamiento realizado y demás parámetros relevantes no está exenta de controversias.

Referencias Bibliográficas

1. Aughey, R., Gore, C., Hahn, A., Garnham, A., Clark, S., Petersen, A., et al. (2005). Chronic intermittent hypoxia and incremental cycling exercise independently depress muscle in vitro maximal Na⁺-K⁺-ATPase activity in well-trained athletes. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)*, 98(1), 186-192.
2. Billat, V. (2002). Entorno físico y rendimiento deportivo: Temperatura y altitud. En Billat, V. (2002), *Fisiología y metodología del entrenamiento* (pp.117-127). Barcelona: Paidotribo.
3. Bonetti, D., & Hopkins, W. (2009). Sea-Level Exercise Performance Following Adaptation to Hypoxia: A Meta-Analysis. *Sports Medicine*, 39(2), 107-127. Böning, D. (2002). Altitude and hypoxia training - effects on performance capacity and physiological functions at sea level. *Medicina Sportiva Polonica*, 6(1), E7-e17.
4. Casas, H., Casas, M., Ricart, A., Rama, R., Ibáñez, J., Palacios, L., et al. (2000). Effectiveness of three short intermittent hypobaric hypoxia protocols: hematological responses. *Journal of Exercise Physiology Online*, 3(2).

5. Chapman, R., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. (1998). Individual variation in response to altitude training. *Journal of Applied Physiology*, 85(4), 1448-1456.
6. Faria, E. (2009). Recent advances in specific training for cycling. *International Sport Med Journal*, 10(1), 16-32.
7. Gore, C., Clark, S., & Saunders, P. (2007). Nonhematological Mechanisms of Improved Sea-Level Performance after Hypoxic Exposure. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(9), 1600-1609.
8. Hamlin, M.J. y Hellemans, J. (2007). Effect of intermittent normobaric hypoxic exposure at rest on haematological, physiological, and performance parameters in multi-sport athletes. *Journal of Sports Science*, 25(4), 431-441.
9. Heinicke, K., Prommer, N., Cajigal, J., Viola, T., Behn, C., & Schmidt, W. (2003). Long-term exposure to intermittent hypoxia results in increased hemoglobin mass, reduced plasma volume, and elevated erythropoietin plasma levels in man. *European Journal Of Applied Physiology*, 88(6), 535-543.
10. Hendriksen, I., & Meeuwssen, T. (2003). The effect of intermittent training in hypobaric hypoxia on sea-level exercise: a cross-over study in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 88(4/5), 396-403.
11. Hinckson, E., Hopkins, W., Downey, B., & Smith, T. (2006). The effect of intermittent hypoxic training via a hypoxic inhaler on physiological and performance measures in rowers: a pilot study. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 9(1-2), 177-180.
12. Hoppeler, H., Vogt, M., Weibel, E.R. & Flück, M. (2003). Response of skeletal muscle mitochondria to hypoxia. *Experimental Physiology*, 88(1), 109-119
13. Katayama, K., Sato, Y., Ishida, K., Mori, S., & Miyamura, M. (1998). The effects of intermittent exposure to hypoxia during endurance exercise training on the ventilatory responses to hypoxia and hypercapnia in humans. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 78(3), 189-194.
14. Levine, B., & Stray-Gundersen, J. (2005). Point: Positive effects of intermittent hypoxia (live high:train low) on exercise performance are mediated primarily by augmented red cell volume. *Journal of Applied Physiology*, 99(5), 2053-2055.
15. López, J.A. (2008). Fisiología de la altitud y del ejercicio físico. En López, J. y Fernández, A. (2008), *Fisiología del Ejercicio* (pp.696-737). Madrid: Panamericana.
16. Lozano, F. (2008, Febrero). Hypoxic stimulation in long distance runners. A necessity in high performance sport. I Simposio Internacional de Entrenamiento en Altitud, Granada, España.

17. Meeuwssen, T., Hendriksen, I., & Holewijn, M. (2001). Training-induced increases in sea-level performance are enhanced by acute intermittent hypobaric hypoxia. *European Journal of Applied Physiology*, 84(4).
18. Millet, G., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. (2010). Combining Hypoxic Methods for Peak Performance. *Sports Medicine*, 40(1), 1-25.
19. Mori, M., Kinugawa, T., Endo, A., Kato, M., Kato, T., Osaki, S., et al. (1999). Effects of hypoxic exercise conditioning on work capacity, lactate, hypoxanthine and hormonal factors in men. *Clinical And Experimental Pharmacology & Physiology*, 26(4), 309-314.
20. Rodríguez, F., Casas, H., Casas, M., Pages, T., Rama, R., Ricart, A., et al. (1999). Intermittent hypobaric hypoxia stimulates erythropoiesis and improves aerobic capacity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 31(2), 264-268.
21. Rodríguez, F., Truijens, M., Townsend, N., Stray-Gundersen, J., Gore, C., & Levine, B. (2007). Performance of runners and swimmers after four weeks of intermittent hypobaric hypoxic exposure plus sea level training. *Journal of Applied Physiology*, 103(5), 1523-1535.
22. Terrados, N., Melichna, J., Sylven, C., Jansson, E., & Kaijser, L. (1988). Effects of training at simulated altitude on performance and muscle metabolic capacity in competitive road cyclists. *European Journal of Applied Physiology & Occupational Physiology*, 57(2), 203-209.
23. Terrados, N., Mizuno, M. y Andersen, H. (1985). Efecto de altitudes moderadas (900, 1.200 y 1.500 m. sobre el nivel del mar) en el consumo máximo de oxígeno. *Apunts, Medicina de l'sport*, 86, 97-101.
24. Truijens, M., Rodríguez, F., Townsend, N., Stray-Gundersen, J., Gore, C., & Levine, B. (2008). The effect of intermittent hypobaric hypoxic exposure and sea level training on submaximal economy in well-trained swimmers and runners. *Journal of Applied Physiology*, 104(2), 328-337.
25. Villa, J., Lucía, A., Marroyo, J., Avila, C., Jiménez, F., García-López, J., et al. (2005). Does Intermittent Hypoxia Increase Erythropoiesis in Professional Cyclists During a 3-Week Race? *Canadian Journal of Applied Physiology*, 30(1), 61-73.
26. Wilber, R. (2001). Current Trends in Altitude Training. *Sports Medicine*, 31(4), 249-265.

Anexos con gráficos, tablas, imágenes, etc:

Tabla 1. Recopilación de estudios favorables y desfavorables sobre las bondades de la exposición a la hipoxia.

Mejora del rendimiento deportivo tras exposición hipóxica	
Estudios favorables	Estudios no favorables
Katayama et al. (1998)	Mori et al. (1996)
Meeuwsen et al. (2001)	Trujiens et al. (2008)
Hendriksen y Meeuwsen (2003)	Rodríguez et al. (2007)
Beidleman et al (2008), en Faria (2009)	Hinckson et al. (2006)
Hamlin y Hellemans (2007)	Aughey et al. (2005)
Terrados et al. (1988)	Hoppeler et al. (2006)
Casas et al. (2000)	
Rodríguez et al. (1999)	
Villa et al. (2005)	

Tabla 2. Características comunes de aquellos estudios que encontraron resultados favorables de la exposición a la hipoxia.

Características comunes de los estudios favorables
Respecto a la altitud utilizada: Los estudios comprenden altitudes de entre los 2500 y los 5500 metros
Respecto al número de sesiones recibidas: Los estudios comprenden periodos de tratamiento de entre 6 días y 4 semanas
Respecto a la frecuencia semanal de exposición: Los estudios hablan de al menos 4 o 5 sesiones a la semana
Respecto a la duración de cada sesión: Los estudios comprenden duraciones de entre 20 minutos y 5 horas, siendo la moda 2 horas, la media 2h15 min. y la desviación típica 1h26 min.

Breve currículum para la presentación (extensión aproximada 20 líneas):

DIONISIO ALONSO CURIEL, es profesor Titular de la Universidad Autónoma de Madrid (Departamento de Educación Física Deporte y Motricidad Humana). Licenciado en Educación Física y en Ciencias Biológicas. Entrenador Nacional de Atletismo especializado en pruebas de medio fondo y fondo. En este deporte ha trabajado con atletas en los diferentes estadios de la formación deportiva: iniciación, especialización y alto rendimiento. Ha publicado diferentes trabajos relacionados con el Atletismo en libros y revistas especializadas en este deporte. Estos trabajos comprenden los distintos niveles de formación deportiva, desde la iniciación escolar hasta el alto rendimiento. También ha presentado diferentes ponencias y comunicaciones, sobre estos mismos temas, en distintos congresos nacionales e internacionales. En la actualidad dirige la formación deportiva de un grupo de atletas de alto rendimiento en el Centro de Alto Rendimiento de Madrid, entre los cuales destaca el actual Campeón de Europa de 5000 metros Jesús España Cobo.

Material de apoyo requerido: Cañón de proyección.

Fotografía carnet (digital) de los conferenciantes."

Dionisio Alonso Curiel



Juan del Campo Vecino



Carlos Balsalobre Fernández



Carlos M^a Tejero González

