© Copyright ,F U T S A L C O A C H , Spain
Todos los derechos reservados

Autor: **Alfonso Guerrero**

Director Técnico Adjunto de www.futsalcoach.com
Profesor de Educación Física
Master en Psicología del Deporte; Experto Universitario en Entrenamiento Deportivo
Preparador Físico especializado en Fútbol Sala

Madrid, Marzo 2007 www.futsalcoach.com © Todos los derechos reservados

EFECTOS Y BENEFICIOS DEL ENTRENAMIENTO EN ALTURA

Introducción

A través de presente artículo se pretende explicar de una manera sencilla cuales son los principales efectos beneficiosos del entrenamiento en altura. Sin procurar no entrar mucho en terminología de cierta densidad fisiológica o médico-deportiva y con la intención de llegar, a parte de a los preparadores físicos cuyos conocimientos en este campo pueden ser más que contrastados, a todo tipo de entrenadores independientemente de su nivel o condición, se exponen una serie de aspectos físicos referentes a distintos parámetros de control sobre los que se evalúa dichos efectos, como pueden ser la presión barométrica, la gravedad y la humedad relativa.

Dependiendo de estos efectos se han realizado distintas clasificaciones de la altitud atendiendo a distintos criterios, pero siendo muy imprecisas en sus valoraciones al intervenir otros factores como: la temperatura ambiente, latitud, etc. En el siguiente cuadro presentamos una clasificación basada en criterios biológicos haciendo distinción entre baja, media, alta y muy alta altitud sobre el nivel del mar.

© Copyright ,F U T S A L C O A C H , Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, F U T S A L C O A C H, Spain Todos los derechos reservados

Hasta 1000 m	Hasta 2000 m	Hasta 5500 m	Hasta 8848 m (Everest)
Baja Altitud: No hay efecto destacado	Media Altitud: Disminución del Rendimiento Máximo	Alta Altitud: Efectos tanto sobre el Rendimiento en el Ejercicio Físico como en Reposo	Muy Alta Altitud: Efecto Perjudicial, Vida Prácticamente Imposible

Sin embargo, como decimos, la inexactitud de este tipo de clasificaciones, y los últimos estudios recientes realizados en materia fisiológica nos lleva a llamar *ALTITUD MODERADA* a la situada entre 1500 y 3000 metros, siendo ahí donde se realizan a veces competiciones y concentraciones deportivas y en donde están situados los centros deportivos de entrenamiento en altitud.

Por lo tanto cuando hablamos de entrenamiento o competición en altitud nos referimos a una altitud moderada situada entre 1500 y 3000 metros (aproximadamente 2000 m) sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), siendo perjudicial en estos ámbitos por encima de esta cota.

Efectos Físicos de la Altitud

Atendiendo a los siguientes factores que señalamos a continuación podemos valorar el efecto físico que puede producir la altitud en el organismo.

- **Presión Barométrica:** En altura se produce una disminución de la presión atmosférica que tiene como consecuencia una disminución en la presión parcial del oxigeno de aire y a su vez también en la sangre arterial. Esta disminución de la presión atmosférica y la hipoxia relativa que conlleva es el efecto físico fundamental que producirá las diferentes respuestas fisiológicas.

© Copyright, F U T S A L C O A C H, Spain Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

- **Temperatura:** Desciende con la altitud, aproximadamente 1 grado centígrado por cada 150 metros de subida sobre el nivel del mar. Siendo negativa generalmente, por encima de los 3OOO metros y alcanzando los -37 grados en los 8000 metros. La latitud influye de forma importante en las variaciones de temperatura.
- **Humedad Relativa:** La cantidad de vapor de agua en la atmósfera, disminuye con la altitud, pero de una manera mucho más rápida que la presión barométrica. Así encontramos que a 2000 metros disminuye en un 50% y a 4000 metros, cuando la presión constituye 2/3 de la del nivel del mar, el vapor de agua tan sólo representa 1/4 del existente a 760 milímetros de Mercurio (mm Hg). Esto explica en parte el rápido incremento de las radiaciones con la altitud (como veremos a continuación), y la pérdida de agua corporal que se produce en las estancias en altitud.
- **Radiaciones:** La exposición a la irradiación solar aumenta con la altitud de la siguiente manera: de 2 a 4 % cada 100 metros aproximadamente, hasta llegar a los 2000 metros y en un 1% cada 100 metros a partir de los 2000 m. Esto es debido fundamentalmente a la mayor limpieza del aire (menor polución y menor vapor de agua) y, en ocasiones, a la reflexión por la nieve que puede determinar un aumento del 75 al 90% con su presencia.
- **Gravedad:** La fuerza de la gravedad disminuye inversamente proporcional a la altitud. A nivel del mar, la aceleración de la gravedad es de 9.8 m/seg/seg. La fuerza de la gravedad disminuye con la altitud, descendiendo a su vez la aceleración 0.003086 m/seg/seg por cada 1000 metros de altitud. Debido a ello, el tiempo de vuelo y la distancia recorrida por el balón lanzado por un portero con una fuerza determinada, será mayor en altitud que a nivel del mar.
- **Resistencia del Aíre.** La resistencia del aire también se ve afectada por la altitud, ya que disminuye al descender la presión barométrica. Este hecho es importante en dos sentidos. En primer lugar, porque la reducción en la densidad del aire, disminuye la cantidad de trabajo que deben realizar los músculos respiratorios para vencer la resistencia de las vías aéreas durante la respiración. Finalmente, porque también disminuirá la resistencia que tiene

© Copyright, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

que vencer un jugador de fútbol sala para mantener una velocidad determinada.

Respuestas del organismo a la altitud.

Podemos diferenciar dos tipos de respuestas que se ocasionan en el organismo por su exposición a la altitud. La primera se produce nada más llegar al punto de altitud determinado y dura hasta el tercer día aproximadamente de estancia, se denomina ***respuesta aguda*** y en ella se producen las siguientes consecuencias a nivel orgánico:

1. En reposo:

- Al producirse una disminución de la presión atmosférica que conlleva una bajada en la presión parcial del oxigeno en el aire inspirado y en la presión parcial de oxigeno en la sangre arterial (sangre oxigenada), se produce un aumento de la ventilación pulmonar.
- Al producirse una menor presión del oxigeno en la sangre arterial y por consiguiente el menor aporte de oxigeno a los órganos, el organismo trata de enviar más cantidad absoluta de sangre por minuto a los órganos, es decir, aumenta el Gasto Cardíaco en reposo, mediante el aumento de la Frecuencia Cardiaca. Dicho aumento se produce solamente en la respuesta aguda, pues en estancias más duraderas en altitud el Gasto Cardíaco disminuirá debido al descenso del Volumen Sistólico.
- A nivel hematológico se observa en esta fase aguda una pérdida de Volumen Plasmático, en un intento del organismo de aumentar la cantidad de oxígeno transportado por cada unidad de volumen de sangre. Esa hipovolemia (volumen bajo de oxigeno en sangre) parece causada por una serie de factores entre los que se encuentra el aire frío y seco, que aumenta la perdida de agua por las vías respiratorias, la hiperventilación y a un aumento de la permeabilidad de la pared capilar. También se produce un aumento en el pH de la sangre, debido a la perdida excesiva de dióxido de carbono a través de

© Copyright, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

los pulmones por el aumento brusco de la ventilación, dando lugar a una alcalosis respiratoria.

2. En ejercicio:

Al realizar ejercicio físico en altitud la ventilación y la frecuencia cardiaca aumenta en relación al nivel del mar. Pero sin embargo no logran compensar que la hipoxia (falta de oxigeno), debida a la menor presión parcial del oxigeno en la sangre arterial, produzca una disminución en el consumo máximo de oxigeno y en el rendimiento aeróbico en altitud. Este consumo máximo de oxigeno se consideraba que disminuía a medida que aumentaba la altitud, situándose en una cota mínima de 1200 m donde se podían observar los primeros síntomas. Además se creía que aquellas personas sedentarias (con baja capacidad aeróbica) se verían más afectadas en su consumo máximo de oxígeno que las entrenadas (con capacidad aeróbica alta), mientras otros opinaban que los deportistas de alto nivel aeróbico serían los más afectados.

En estudios realizados posteriormente, Terrados y Col. (1985), no solo se demostró que la altitud afecta más a deportistas de alto nivel aeróbico que a las personas sedentarias, sino que se demuestra que hay una disminución en el consumo máximo de oxigeno más que significativa en el deportista de élite y no precisamente a 1200 o 1500 m, sino a 900 m, sin que por ejemplo las personas sedentarias se vean afectadas a esta altitud. Factores relacionados con la capacidad de difusión pulmonar o en relación con el valor absoluto de consumo máximo de oxigeno (VO2max), capacidad aeróbica mixta, se consideran que pueden ser la causa de esta diferenciación.

© Copyright, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, FUTSALCOACH, Spain
Todos los derechos reservados

Sintomatología asociada a esta fase aguda

Durante los primeros días de estancia en altitudes moderadas puede aparecer, de una manera individualizada, una sintomatología leve que varía entre dolores de cabeza, distress respiratorio, nauseas, mareos, insomnio y falta de apetito. Estos síntomas pueden aparecer de una manera aislada o varios a la vez y no aparecen en todos los casos. Normalmente desaparecen pasados 4 a 6 días, aunque el, insomnio puede durar algo más.

Cuando la exposición a la altitud es más prolongada que dos o tres días se denomina **respuesta fisiológica crónica** y se producen una serie de adaptaciones a la altitud encaminadas a compensar la hipoxia producida por la menor presión parcial de oxigeno en el aire inspirado. Algunas de las adaptaciones más destacadas se producen en relación a los siguientes factores:

1. Respiratorios:

La Ventilación pulmonar, que aumentó claramente nada mas subir a altitud, se mantiene elevada durante todo el periodo de estancia en altitud. Sin embargo, las personas que nacen y viven en altitud presentan una respuesta ventilatoria totalmente diferente, pues tienden a hipoventilar y a mantener un menor gradiente alveolo-arterial de oxígeno, posiblemente debido a que tienen una mayor capacidad de difusión pulmonar y una mayor densidad capilar pulmonar. La hiperventilación que se realiza en altitud irá acompañada de una disminución en la presión arterial de C02 (PaC02), que se acompaña de un aumento en el pH tanto arterial como del Líquido Cefalorraquídeo (LCR) ya que el C02 atraviesa fácilmente la barrera cefalorraquídea.

© Copyright, FUTSALCOACH, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

2. Transporte de oxigeno:

Tal como se mencionó anteriormente, el Gasto cardíaco en reposo y durante ejercicio submáximo, aumenta al subir a altitud, principalmente a costa del aumento de la frecuencia cardiaca: Pero pasados unos días (de 3 a 6 dependiendo de factores individuales), el gasto cardíaco disminuye, tanto en reposo como en ejercicio submáximo y máximo, debido al descenso en el volumen sistólico. El gasto cardiaco se mantiene bajo durante toda la estancia en altitud, aunque algunos autores opinan que después de periodos de aclimatación muy largos, puede acercarse a los valores obtenidos a nivel del mar. La producción aumentada de Glóbulos rojos (que se había iniciado con la exposición aguda) empieza a hacerse palpable a las 2 semanas aproximadamente. El Volumen plasmático, que había disminuido con la exposición aguda, se mantiene bajo durante un largo periodo (aproximadamente 2 meses). El Consumo Máximo de Oxígeno, que estaba disminuido por la altitud, mejora durante el periodo de aclimatación, debido a las mejoras en el transporte de oxigeno, pero sin llegar a los niveles iniciales obtenidos a nivel del mar.

3. Metabolismo muscular:

El interés es debido fundamentalmente al hecho de que las posibles modificaciones a nivel del metabolismo muscular van a influir mucho en el rendimiento físico de una persona, teniendo un carácter más duradero que las adaptaciones en los otros apartados, lo cual las va a hacer de interés no sólo para las estancias en altitud sino para el posterior retorno al nivel del mar. Por último, y tal como se mencionó con anterioridad, el sentido y la magnitud de esas modificaciones nos pueden ayudar a conocer los factores que estimulan o inhiben las vías energéticas o, dicho de otra manera, la capacidad de obtener más o menos energía en el músculo y de rendir físicamente mejor o peor.

a. Masa muscular:

Durante las estancias prolongadas en altitud, se produce una pérdida de masa corporal, que se asoció en un principio únicamente a la disminución de la grasa corporal, por la menor ingesta calórica y por la mayor

© Copyright, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, FUTSALCOACH, Spain
Todos los derechos reservados

utilización de grasa. Posteriormente se comprobó que también existía una pérdida de masa muscular, sobre todo después de estancias en altitudes superiores a los 5000 metros.

b. Grosor de las fibras:

Se aprecia que, sobre todo después de estancias en alturas superiores a los 4000 metros, hay una reducción en el grosor de las fibras musculares, principalmente debida a una pérdida de proteínas miofibrilares, aunque por ahora no se ha podido diferenciar claramente, si esa disminución es debida al efecto de la hipoxia o se trata de una atrofia fisiológica producto de la menor cantidad de actividad física y/o de una nutrición deficiente. En altitudes moderadas también se aprecia una tendencia a la disminución en el grosor de las fibras musculares.

c. Capilares:

La mayor o menor red capilar, es de gran importancia para el transporte de oxígeno y sustratos al músculo en ejercicio. Con el entrenamiento de resistencia uno de los cambios estructurales que se produce en el músculo esquelético, es el aumento en la densidad capilar, considerándose últimamente como un factor de gran importancia para la extracción y utilización del oxígeno y los sustratos energéticos y, para el aclaramiento de los productos metabólicos de desecho, como por ejemplo el Acido Láctico. Deportistas expuestos a altitudes por encima de los 6000 metros han manifestado un aumento en la densidad capilar relacionada con la disminución en el grosor de las fibras, manteniéndose la misma red capilar, lo cual dará lugar a un aumento del número de capilares por área. Los estudios realizados en altitudes moderadas, muestran una clara tendencia al incremento de la densidad capilar en el músculo esquelético.

© Copyright, FUTSALCOACH, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

Entrenamiento en Altitud

Aparte de los periodos de entrenamiento realizados en altitud como adaptación previa a una competición en altitud, aspecto que se comentará en el siguiente apartado, se especula y se utiliza el entrenamiento en altitud como posible método de mejora de cara al rendimiento deportivo a nivel del mar. El entrenamiento de tipo anaeróbico realizado en altitud moderada, puede tener un efecto beneficioso en el rendimiento, posiblemente debido a una mejora en la capacidad tampón muscular. Esta mejora es probablemente incompatible con mejoras en el metabolismo aeróbico, por el tipo diferente de entrenamiento que se debe de realizar, salvo en personas nacidas en altitud o largamente aclimatadas que puedan compatibilizar el entrenamiento de las dos vías metabólicas.

Estudios realizados en los altiplanos de Kenia (Saltin y col., 1995), abren también nuevas perspectivas, pues orientan sobre la idea de que el entrenamiento en altitud puede mejorar los valores de déficit acumulado de oxigeno lo que implica un aumento en la capacidad anaeróbica y también parece que disminuye la producción de amonio por el músculo en ejercicio, o aumenta su aclaramiento, ya que los atletas keniatas que entrenaban en altitud, presentaban concentraciones de amonio en plasma inferiores a las de los atletas suecos que sirvieron de grupo control, e inferiores a los datos en la literatura, tanto después del ejercicio submáximo como máximo.

El entrenamiento en altitudes moderadas puede tener un efecto beneficioso en el metabolismo muscular, pero teniendo en cuenta que hay que mantener unos niveles de entrenamiento similares en intensidad y volumen a los que se realizarían a nivel del mar. Hay que enfocar el entrenamiento en estimular y mejorar un sólo componente metabólico. Hay que planificar con cuidado en qué momento o momentos de la temporada se realiza. Y hay que individualizar las cargas de entrenamiento, en caso contrario el entrenamiento en altitud tendrá efectos negativos; además, debido a la respuesta tan individualizada que presentan los

© Copyright, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

deportistas en altitud, es conveniente realizar una estancia previa en altitud, para valorar esa respuesta.

Competición en altitud

Dividiremos este apartado teniendo en cuenta el predominio de la fuente metabólica en el evento deportivo, ya que como veremos a continuación, variará mucho el rendimiento deportivo en altitud dependiendo de ser un deporte o especialidad deportiva que obtenga mucha energía de vías metabólicas dependientes del oxígeno, o no.

1. Deportes de alto componente aeróbico:

En las pruebas atléticas de larga distancia se observan empeoramientos drásticos en comparación con las marcas a nivel del mar, llegando incluso algunas de ellas a producir colapsos y desmayos inesperados. En ciertas pruebas de alto componente aeróbico, como en el caso del ciclismo en ruta, patinaje de velocidad y esquí de fondo, la merma en el rendimiento que supone el poder disponer de menos oxígeno, se ve en parte compensada por la disminución en la resistencia del aire, que reducirá el coste energético.

Para solventar el problema de tener que competir en este tipo de pruebas en altitud, dos estrategias se han utilizado: la primera consiste en llegar a altitud justo antes de la competición, competir, y volver al nivel del mar, para así evitar el inicio de las alteraciones respiratorias, los síntomas asociados a los primeros días de estancia en altura (náuseas, dolores de cabeza, distress respiratorio, insomnio) y, sobre todo, evitar el inicio en la disminución en el Gasto cardíaco.

Esta estrategia, por las dificultades de un viaje de esas características, es sólo utilizada en circunstancias y deportes muy concretos. La segunda estrategia sería, entrenar durante unas semanas en altitud para aclimatarse a esas condiciones y para adecuar el ritmo de competición a la situación de hipoxia. Se considera que, como mínimo, el periodo de aclimatación debería de ser de 2

© Copyright, F U T S A L C O A C H, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005, FUTSALCOACH, Spain
Todos los derechos reservados

semanas (siendo mejor 3 semanas), para que así se completen las principales adaptaciones metabólicas y hematológicas. De los estudios realizados hasta el momento, se puede deducir que tanto la endurancia (expresada como el tiempo que puede mantener un deportista una carga determinada de trabajo), como el rendimiento (expresado como el tiempo que tarda en recorrer una distancia) en altitud, se ven muy mejorados después de un periodo de aclimatación y entrenamiento en altitud. En un estudio realizado (Terrados et al.1988), se observaba claramente que el rendimiento en altitud (2300 metros) de un grupo de ciclistas que habían entrenado en esa altitud, era muy superior al rendimiento en esa misma altitud, de otro grupo de ciclistas que realizaron el mismo entrenamiento, pero a nivel del mar. Pudiendo concluir que, en los deportes de alto componente aeróbico, el rendimiento deportivo en altitud, se ve mejorado claramente después de un periodo de aclimatación y entrenamiento en dicha altitud. Este periodo de aclimatación debería de durar unas tres semanas.

2. Deportes de Velocidad:

En las pruebas atléticas de duración menor de 2 minutos, cuyo componente principal es la velocidad, debido a la menor fuerza de gravedad y a la menor resistencia del aire, se mejoran mucho los rendimientos (tiempos).

3. Deportes de fuerza.

La fuerza muscular máxima, no se ve afectada por la hipoxia por lo que deportes como la Halterofilia no ven influenciado su rendimiento en estas altitudes moderadas. Pruebas atléticas como el lanzamiento de peso o de martillo, se verán beneficiadas en altitud por la menor fuerza de gravedad y la menor resistencia de aire

© Copyright, FUTSALCOACH, Spain
Todos los derechos reservados

© Copyright 2005 , F U T S A L C O A C H , Spain
Todos los derechos reservados

BIBLIOGRAFÍA

- Terrados N., (1986). “Competición y entrenamiento en altitud”. Medicina y Deporte 2:17-20.
- Terrados N., (1992). “Altitude training and muscular metabolism”. Internacional Journal Sports Medicine 13, suppl.1:206-207
- Terrados N., (1992). “Fisiología del ejercicio en altitud”. In: Fisiología de la Actividad Física y del Deporte. J. González Gallego. Madrid: McGraw-Hill. Interamericana, Pág. 287-301

© Copyright 2005 , F U T S A L C O A C H , Spain
Todos los derechos reservados