

## **ENTRENAMIENTO EN ALTURA**

### **INTRODUCCIÓN**

Esta presentación sobre el entrenamiento en altura está basada en información científica, en experiencia propia, y la de otros deportistas que durante años hemos transitado por montañas y altiplanicies en busca de un objetivo deportivo, una aventura o buscando mejoras en el rendimiento. Mientras algunos piensan que competir en la altura es inhumano, quienes disfrutamos el aire más liviano como un regalo más de la naturaleza, aprendimos pacientemente a adaptarnos a ella disfrutando de la acción deportiva.

Cualquier país que trabaja seriamente en busca de alto rendimiento, recurre entre otros medios al entrenamiento en altura, ya sea en centros propios o en otros países que cuenten con ellos. También se ha relacionado el clima de regiones de montaña (altitudes similares a las de entrenamiento) a la salud, con un efecto estimulante que brinda una sensación de mayor bienestar general. Esto es un hecho, sin embargo, existen dudas y controversias en el conocimiento científico acerca de los efectos sobre diferentes aspectos del rendimiento deportivo. Esto se debe a los diferentes métodos de investigación con diferentes protocolos, diferentes altitudes, inclusive aún a igual altitud las condiciones climáticas suelen variar considerablemente y las respuestas de adaptación pueden ser diferentes en cada individuo. Muchos estudios se llevan a cabo en altitudes demasiado elevadas para lograr efectos positivos de adaptación para el rendimiento deportivo y que tienen un efecto paradójico invirtiendo las adaptaciones de altitudes medias. Además este ambiente puede generar alteraciones perceptivas y cognitivas potenciales por la fatiga y la exposición aguda, tomando desprevenidos a quienes no han tenido experiencia en la altura. Este efecto bien conocido en el montañismo, implica que, para predecir una buena adaptación y un buen desempeño en la altura es un requisito haber estado en la altura, cuantas más veces, mejor.

Desde hace tiempo realizan entrenamientos en la altura equipos deportivos y deportistas individuales en nuestro país, en algunos centros acondicionados en forma temporal; pero para facilitar una aplicación sistemática dentro de la estructura de la planificación deportiva se requiere un desarrollo científico – técnico especializado trabajando en forma permanente en el apoyo a los programas de entrenamiento y generando conocimientos.

Nuestro país cuenta con 3000 Km. de cordillera continental hacia el oeste, con diferentes regiones a mediana altitud con fácil acceso, cercanas a aeropuertos y ciudades importantes. Para utilizar este medio ya sea en la búsqueda de mayores rendimientos deportivos y/o para poder competir en la altura, es necesario crear de una vez por todas centros de entrenamiento en altitud de forma permanente.

### **Clasificación de altura**

La palabra atmósfera es de etiología griega y significa Atmos: Gases y aphairo: esfera. Es decir, que es una masa de gases, humos, polvos y vapores (se diferencian por el tamaño de sus partículas) que cubren la superficie terrestre.

Desde el punto de vista físico las moléculas de estos gases que componen la atmósfera se mueven a gran velocidad, tendiendo a difundirse y ocupar cada vez mayor espacio. Esto hace que ejerzan una fuerza expresada por unidad de superficie se denomina presión atmosférica. Esta presión equivalente a 1000 g. por cm<sup>2</sup> a nivel del mar, y disminuye con la latitud.

Existen muchas clasificaciones de altitud, tales como las meteorológicas y biológicas dependiendo de sus efectos y compatibilidad con la vida humana. Para el montañismo, alta montaña es la que se encuentra por arriba del límite de las nieves perpetuas, y esta varía con la latitud. Desde el punto de vista biológico se

aceptan unos límites relacionados a la altitud divididos de la siguiente manera: baja altitud (hasta los 1000 m.s.n.m.) aquella en la que los individuos sanos no sufren ninguna modificación fisiológica ni en reposo ni en ejercicio. En media altitud (hasta los 2000 m.s.n.m.) se experimentan algunos efectos, afecta el rendimiento físico. En la llamada Alta altitud (hasta los 5500 m.s.n.m.) se observan modificaciones fisiológicas incluso en reposo, siendo muy acentuadas durante el ejercicio. Muy alta altitud (Por encima de los 5500 m.s.n.m.) el efecto deletéreo sobre las funciones fisiológicas es muy marcado. Estos límites no son muy precisos por lo que en ambientes médico deportivos se denomina Altitud moderada a la situada entre los 1500 y 3000 m.s.n.m., siendo estas altitudes donde se encuentran los centros deportivos de altura y donde se realizan competencias y concentraciones.

Cada zona montañosa tiene sus características particulares y regionales, un microclima con diferencias atmosféricas regionales como la Antártida, el Everest, o la cordillera de los Andes; diferencias en el terreno, como la presencia o no de vegetación, nieve, quebradas, etc. también inciden en las sensaciones y en algunos efectos fisiológicos. Este fenómeno es bien conocido por montañistas; por ejemplo en el Himalaya existe vegetación hasta los 5000 metros mientras que en nuestra cordillera central, específicamente en el Aconcagua no hay vegetación a esa altura y los efectos de la altitud son más intensos, según comunicación personal de montañistas himalayistas.

### **Efectos fisiológicos de la altura**

Desde la antigüedad se conocían los efectos de la altura, descritos ya en los viajes de Marco Polo a través del Tibet, los conquistadores españoles sufrieron los efectos durante la conquista de América. Mientras tanto muchos pueblos habitaron en regiones altas desde hace 10000 años en los Andes y 25000 años en el Tibet. Para algunos pueblos las montañas representaban lugares sagrados donde habitaban dioses y demonios; los Incas transitaron estos dominios llegando a realizar construcciones y a depositar momias en altitudes superiores a los 6000 metros, en lugares difíciles de acceder hoy.

En el siglo XIX Paúl Bert, fisiólogo francés, comenzó a estudiar científicamente los efectos de la altura y advirtió que los efectos perjudiciales de las grandes altitudes se debían a la disminución de la presión atmosférica, que induce a una reducción de la presión parcial de oxígeno.

La composición química de la atmósfera es prácticamente uniforme hasta los 20000 metros. Sin embargo la presión y densidad atmosférica son mayores en las capas superficiales de la corteza terrestre y disminuyen en forma exponencial con la altitud. Hay variaciones regionales como las encontradas por la expedición americana al Everest en la que encontraron que la presión barométrica en la cumbre era de unos 17 torr más alta que la predicha por la organización internacional atmosférica estándar de aviación civil.

La razón para las presiones más altas en el monte Everest es que las presiones barométricas entre los 4 y los 16 Km. son marcadamente dependientes de la latitud debido a la presencia de una gran masa de aire frío en la estratósfera arriba del Ecuador, resultantes de un fenómeno de convección y radiación. La cima del Everest se encuentra a 28° de latitud norte y por lo tanto disfruta de esta presión más alta, de no ser así no sería posible ascender sin oxígeno suplementario. La disminución de la presión barométrica y la hipoxia relativa que produce es el efecto físico fundamental que inducirá las diferentes respuestas fisiológicas en altitud.

En general la temperatura disminuye aproximadamente 1° C cada 150 o 180 metros de ascenso pero depende de la orientación del terreno (en las laderas sur y de mayor pendiente los cambios operan más rápidamente que en las norte o de pendiente más suave), también puede producirse en determinados terrenos y en ciertos horarios (según la estación) una inversión de la temperatura con respecto al llano.

La cantidad de vapor de agua en la atmósfera disminuye con la latitud, pero de una manera más rápida que a presión barométrica. Así encontramos que a 2000 m.s.n.m. disminuye un 50% y a 4000 metros, cuando la presión constituye 2/3 de la del nivel del mar. el vapor de agua solo representa 1/4 del existente a 760 mm Hg

a nivel del mar. Esta diferencia en la cantidad de vapor explica, en parte el rápido incremento de las radiaciones con la altitud y la pérdida corporal de agua que se produce con la estancia en la altitud. Recordemos que el aire inspirado se humidifica con vapor de agua al ingresar por las vías respiratorias y que es aportado por la mucosa respiratoria saturando el aire a 37° C que luego expulsamos en cada expiración perdiendo agua. Este mecanismo está sindicado como el de mayor relevancia en la deshidratación provocada por la altura. Además el viento es un factor potenciador aumentando la pérdida calórica y la deshidratación.

La fuerza de gravedad disminuye en proporción al cuadrado con la distancia al centro de la tierra, disminuyendo la aceleración 0,003086 m/seg. cada 1000 metros de altura por lo que el tiempo de vuelo y la distancia recorrida por un cuerpo, lanzado con una fuerza determinada será mayor en altura que a nivel del mar.

La exposición a la irradiación solar aumenta con la altitud de la siguiente manera: 2 a 4% cada 100 metros, aproximadamente hasta llegar a los 2000 metros y en 1% cada 100 metros a partir de los 2000 metros. La reflexión de la nieve puede determinar un incremento del 75% al 90% con su presencia. Tanto las radiaciones infrarrojas como las ultravioletas siguen el aumento general, si bien las UVB (causantes de las quemaduras solares y de la inflamación de la córnea) parece que aumentan más.

La resistencia del aire también se ve afectada por la altitud ya que disminuye densidad al disminuir la presión barométrica. Este hecho es importante en dos sentidos.

- Porque la reducción de la densidad del aire reduce el trabajo que deben realizar los músculos respiratorios para vencer la resistencia de las vías aéreas.
- Porque esta reducción en la densidad del aire también reducirá la resistencia que tiene que vencer un corredor, esquiador o ciclista para mantener una velocidad determinada.

Resumen: El factor físico más importante en la altitud es la disminución de la presión barométrica, que es progresiva conforme subimos a mayores altitudes. Debido a esa disminución disminuye la presión parcial de oxígeno del aire, con lo que baja la presión de oxígeno en la sangre arterial, dando lugar a una hipoxia relativa. También disminuirán la temperatura, la humedad relativa, la fuerza de gravedad y la resistencia del aire. Y aumentarán las radiaciones.

### **Respuesta fisiológica aguda a la altura**

Consideramos respuesta aguda la puesta en marcha de los mecanismos regulatorios que se producen en el organismo como consecuencia de la exposición súbita a la altitud (hipobaría) hasta el tercer día aproximadamente, considerándose respuesta crónica o adaptación los cambios que se producen a partir de ese día.

#### **En reposo:**

El factor principal que afecta la respuesta del organismo a la altitud es la disminución de la presión barométrica, que producirá un descenso de la presión parcial de oxígeno en el aire inspirado. Debido a ello, el gradiente de presión entre el alveolo y la sangre venosa del capilar pulmonar disminuirá en la altitud y la presión de oxígeno en la sangre arterial (Pa O<sub>2</sub>) se reducirá. Los quimioceptores situados en la aorta y en los cuerpos carotídeos, al ser muy sensibles a los cambios en la PaO<sub>2</sub>, mandarán impulsos al centro respiratorio para aumentar la ventilación pulmonar. Así pues, la primera respuesta aguda a la altitud es el aumento de la ventilación.

La segunda respuesta es el aumento del gasto cardíaco mediante un aumento de la frecuencia cardíaca, fundamentalmente debido a un aumento de la actividad simpática. Este aumento del gasto cardíaco se produce solo en la respuesta aguda, ya que en estadías prolongadas el gasto disminuye debido a una disminución del

volumen sistólico. La frecuencia puede incrementarse por ejemplo un 10% a 2000 metros durante los 3 primeros días y hasta un 50% a 4500 metros, luego con la aclimatación desciende, por esta razón puede ser utilizada como índice de adaptación.

A nivel hematológico, se observa en esta fase aguda una pérdida de volumen plasmático, que produce una hemoconcentración. Esta hipovolemia parece causada por una serie de factores entre los que se encuentran el aire frío y seco, que aumentará la pérdida insensible de agua por las vías respiratorias, asociada a la hiperventilación y un posible aumento de la permeabilidad de la pared capilar. También se aprecia un aumento del pH de la sangre, debido a la pérdida excesiva de CO<sub>2</sub> (hipocapnia) a través de los pulmones por el aumento de la ventilación, dando lugar a una alcalosis respiratoria. Esta alcalosis tarda de dos a cuatro días en compensarse por la excreción de bicarbonato por los riñones. Otro efecto hematológico agudo importante es el aumento de 2, 3 – difosfoglicerato, casi inmediatamente después de la llegada a la altitud. Este aumento producirá una disminución en la afinidad de la hemoglobina por el oxígeno, con lo que la curva de disociación de la hemoglobina se desplazará hacia la derecha, favoreciendo la liberación de O<sub>2</sub> a los tejidos.

Durante la exposición aguda, las catecolaminas, los corticosteroides, la hormona antidiurética, las hormonas tiroideas y el glucagón aumentan en forma importante, por el contrario la aldosterona y la renina disminuyen. Mientras que los niveles de insulina se incrementan en la fase aguda, regresan a los valores normales al cabo de una semana. Durante la hipoxia crónica, en reposo disminuye o no se modifica. La testosterona y las hormonas gonadotróficas aparentemente no se modifican por exposición aguda a la altura. Pasados unos días estos valores se normalizan permaneciendo solamente baja la insulinemia y posiblemente elevadas las catecolaminas.

### **Metabolismo:**

Desde el inicio, tanto en la fase de hipoxia aguda como crónica hay una importante disminución en el uso de lípidos como sustrato energético (cociente respiratorio de 0,7) y un incremento en el uso de carbohidratos (cociente respiratorio de 1,0). Varios estudios realizados en altitud confirman el mayor porcentaje de energía partir del consumo de carbohidratos. Un cociente respiratorio más elevado, a una presión alveolar de CO<sub>2</sub> incrementa la PO<sub>2</sub> alveolar mejorando la disponibilidad de O<sub>2</sub> por lo que podría ser considerado un mecanismo compensatorio. En la exposición aguda a la altura, existe una menor glucemia, sin embargo la captación de glucosa libre dentro de la célula (glucocitosis). Esta podría ser otra causa de los niveles bajos de lactato durante el ejercicio y en los nativos.

También durante la fase aguda aumenta la tasa metabólica basal, parece que el efecto depende de la altitud y persiste durante la exposición crónica por arriba de los valores normales. Probablemente se deba al incremento de las catecolaminas pero debe considerarse que este incremento en el consumo diario de energía debe equilibrarse con un aumento en la ingesta alimentaría para minimizar la pérdida de peso.

En el sistema nervioso autónomo se produce durante la fase aguda una hiper – simpaticotomía, mientras que en la fase crónica predomina una hiper parasimpaticotomía.

Durante la aclimatación se produce una disminución del agua extra e intracelular, así como una disminución en el volumen plasmático, el ejercicio puede confundir o agravar este efecto. Por esta causa suelen observarse disminución en el peso corporal sin disminución real de la masa corporal.

### **En ejercicio:**

Cuando se realiza ejercicio físico en altitud, la ventilación y la frecuencia cardiaca se mantienen elevadas por encima de los valores a nivel del mar, para la misma carga de trabajo. Estos cambios no logran compensar el efecto que la hipoxia, debida a la menor PaO<sub>2</sub> produce en el consumo máximo de oxígeno y en el rendimiento aeróbico, viéndose estos parámetros claramente disminuidos.

Hasta hace relativamente poco tiempo, era aceptado que el consumo de máximo de O<sub>2</sub> disminuía en altitudes a partir de los 1200 – 1500 metros siendo esta disminución mayor cuanto más elevada fuera la altitud. La mayor o menor disminución también dependía de factores individuales. Con respecto a ello, algunos autores pensaban que las personas sedentarias con baja capacidad aeróbica se verían más afectadas en su consumo de oxígeno máximo que las entrenadas con alta capacidad de consumo de O<sub>2</sub>. Estudios recientes confirman que la altitud no solo afecta más a deportistas de elite, sino que a partir de 900 metros estos sufren una disminución significativa del consumo de O<sub>2</sub> sin que las personas sedentarias se vean afectadas a esa altitud. Factores relacionados con la capacidad de difusión pulmonar en relación con la superficie corporal o en relación al valor absoluto de consumo máximo de O<sub>2</sub> se consideran como causa de esta respuesta diferencial. Por otro lado en esta etapa se observan niveles de lactato superiores a los encontrados a una misma carga de trabajo submáxima a nivel del mar, probablemente mediada por el aumento de catecolaminas.

Como consecuencia de esta respuesta fisiológica, habitualmente se observan algunos síntomas como insomnio, cefaleas, vértigo, apatía, falta de apetito, fatiga prematura durante los esfuerzos físicos, broncoespasmo en hiperreactivos bronquiales, taquiarritmias, hipertensión arterial. Estos síntomas mejoran con la aclimatación gradual y no suelen tener complicaciones en altitudes moderadas.

### **Respuestas fisiológicas crónicas. Aclimatación y adaptación a la altitud**

Los efectos de la altura son tiempo dependientes y permiten distinguir dos estrategias de regulación biológica para sobrevivir en un ambiente hostil de acuerdo al tiempo de exposición, una de aclimatación y otra de adaptación. Una tercera estrategia comprende los fenómenos regulatorios que pueden cambiar casi instantáneamente en la exposición aguda (ver respuestas agudas). La aclimatación es una adaptación fenotípica, es decir que se desarrolla en el transcurso de la vida del individuo. Son cambios reversibles que desaparecen al cesar el estímulo hipóxico.

La adaptación es definida como el desarrollo de ciertas características anatómicas y fisiológicas, provocadas por los agentes estresantes del ambiente, y que permiten al ser vivo vivir en la altura sin necesidad de cambios en su organismo. Las adaptaciones son progresiva y genéticamente fijadas, y son permanentes. La capacidad de adaptación puede ser un rasgo genéticamente fijado de un individuo o de una especie.

En los individuos nacidos en la altura suelen encontrarse algunas modificaciones estructurales tales como el aumento del diámetro torácico, mayor hipertrofia cardíaca, y otras modificaciones estructurales y funcionales. En algunos animales se observa una adaptación genética, como por ejemplo la llama, el guanaco, o la oca cenicienta que vuela a 8000 metros de altitud.

Cuando la estadía en altitud se prolonga unos días se producen una serie de adaptaciones fisiológicas en el organismo (algunas iniciadas desde el primer momento y otras de aparición más tardía) encaminadas a compensar la menor presión de O<sub>2</sub> en el aire inspirado.

### **Respiración**

A pesar de que la concentración de O<sub>2</sub> en la atmósfera no cambia, la presión parcial si lo hace ostensiblemente. Si una persona no aclimatada asciende en poco tiempo a una altitud moderada, o alta sufre una serie de síntomas, conocidos como mal agudo de montaña. La base del problema parece estar en la pérdida excesiva de CO<sub>2</sub> por los pulmones y la consecuente pérdida de bicarbonato, junto a la relativa hipoxia, favorecen la salida de iones de potasio desde el compartimento intracelular al extracelular. Los mecanismos que pueden llevar a esta situación son los siguientes:

El descenso de la PO<sub>2</sub> atmosférica y de la PO<sub>2</sub> alveolar produce la estimulación de los quimiorreceptores periféricos, especialmente de los cuerpos carotídeos, pero no de los del SNC. Esta estimulación incrementa la ventilación alveolar, por aumento de la profundidad y frecuencia respiratoria y disminuye el espacio muerto

respiratorio; ambos cambios llevan a una mayor pérdida de CO<sub>2</sub> y descenso de la PCO<sub>2</sub> por lo tanto al establecimiento de hipocapnia arterial (alcalosis respiratoria). La hipoxia también puede generar una vasoconstricción en la circulación pulmonar y elevar la presión media de perfusión, llegando a generar cuadros de hipertensión pulmonar. Todos estos mecanismos se hacen más notorios en grandes altitudes de entrenamiento.

La ventilación permanece aumentada durante toda la estadía en altura. Sin embargo las personas que nacen y viven en altura presentan una respuesta completamente diferente, pues tienden a hipoventilar y a mantener un menor gradiente alveolo–arterial de O<sub>2</sub>, 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 de la PaCO<sub>2</sub> (hipocapnia), que se acompaña de un aumento del pH en el líquido cefalorraquídeo, ya que CO<sub>2</sub> atraviesa fácilmente la barrera hematoencefálica. Para evitar que el líquido cefalorraquídeo se alcalinice, se excreta bicarbonato del LCR, lo cual mantiene el estímulo sobre los quimiorreceptores periféricos. Esta hipocapnia puede provocar vasoconstricción cerebral.

### **Transporte de oxígeno**

Después de unos 3 a 6 días el gasto cardíaco disminuye, tanto en reposo como en ejercicio submáximo debido a una disminución del volumen sistólico.

Algunos autores opinan que después de períodos muy largos de aclimatación el gasto puede acercarse a valores obtenidos a nivel del mar. En grandes altitudes la frecuencia cardíaca máxima disminuye, llegando a valores como de 135 latidos por minuto; quizás pueda entenderse este fenómeno como un mecanismo de protección ante requerimientos metabólicos en esfuerzos excesivos en hipoxia hipobárica.

El 2,3–DPG se mantiene elevado durante la estancia en altitud con el correspondiente efecto de desplazamiento a la derecha sobre la curva de disociación de la hemoglobina, favoreciendo la liberación de O<sub>2</sub> a los tejidos.

La producción de glóbulos rojos que comienza durante la exposición aguda a partir de los 1500 metros (entre los 3 a 5 días de estadía) se hace palpable aproximadamente a las dos semanas aproximadamente. El origen de esta producción es el estímulo que realiza la hipoxemia a nivel renal, produciendo un aumento en los niveles de eritropoyetina que llega a punto máximo aproximadamente al mes, que a su vez estimulará la producción de eritrocitos en la médula ósea. El volumen plasmático permanecerá disminuido durante aproximadamente dos meses.

El consumo máximo de O<sub>2</sub> mejora durante el período de aclimatación, debido a la mejora del transporte de O<sub>2</sub>, pero sin llegar a los valores alcanzados a nivel del mar.

### **Hormonas**

Las modificaciones hormonales son de difícil valoración por la cantidad de factores externos que influyen en las personas expuestas a la altitud, como son el frío, el estrés, el ejercicio físico, etc. lo cual da resultados contradictorios. De los pocos estudios existentes se puede concluir que los niveles de catecolaminas están aumentados durante las estadías en altitud y en personas aclimatadas, tanto en reposo como en el ejercicio, al igual que la hormona del crecimiento (HGH).

Los ejercicios en alturas extremas (superiores a 4000 metros) originan una elevación de la HGH. Por otra parte, en estudios de autores como Reynaud, la HGH está mas elevada en reposo en los nativos de las montañas que en los habitantes de nivel del mar. Estos, al ascender en la montaña, aumentan los niveles de

reposo, aunque no alcanzan los encontrados habitualmente en los nativos. Tras un ejercicio efectuado en estas cotas, los niveles plasmáticos de HGH se elevan más en los montañeros frente a los valores encontrados en los nativos para el mismo esfuerzo.

Igualmente, y de acuerdo con los diversos autores, la HGH en estas altitudes posee un período de liberación más tardío y de menor vida media en los montañeros, por un posible defecto en el aclaramiento hormonal.

### **Metabolismo muscular**

En este apartado es donde existe mayor controversia entre diferentes investigadores. El hecho de que las modificaciones a nivel del metabolismo muscular van a influir mucho en el rendimiento y que los cambios son más duraderos que las adaptaciones que las logradas por otros medios, hacen esto más interesante no solo para las estancias en altitud sino para el posterior regreso a nivel del mar. El sentido y la magnitud de esas modificaciones nos pueden ayudar a conocer los factores que estimulan o inhiben las vías energéticas. Por la relación que tienen entre si todos los componentes musculares, se consideran bajo el mismo epígrafe todas las modificaciones tanto histológicas como metabólicas.

### **Resumen de las adaptaciones principales y las que se producen a mediana altitud**

Durante el ejercicio exhaustivo en altura se ha encontrado que los sustratos de nucleótidos de adenina fueron menos depletados y hay una menor degradación de glucógeno. Mientras tanto un elevado pH intramuscular, y bajas concentraciones de lactato en músculo y sangre se encontraron en sujetos aclimatados.

### **Masa muscular**

La mayoría de los autores coincide en que durante estancias muy prolongadas en altitud hay una pérdida de masa corporal, sobre todo por encima de los 5000 metros. Existen pocos estudios al respecto. Sin embargo, en estudios llevados a cabo a 5050 metros por B. Kayser encontraron que la hipertrofia muscular en flexores del codo era 2/3 de la del nivel del mar, así parece ser que la hipoxia crónica reduce el potencial para la hipertrofia del músculo esquelético humano. Probablemente este efecto se deba a alteraciones hormonales como la disminución de los valores de insulina. Si bien la hormona del crecimiento aumenta durante el ejercicio en hipoxia aguda, la acción sobre el músculo esquelético es probablemente mediada por el factor de crecimiento insulínico. Por otro lado en altitudes de 2000 metros la masa muscular no sufre efectos importantes. Grosor de fibras: Después de estancias superiores a los 4000 metros se aprecia una reducción del tamaño de las fibras musculares, principalmente debido a la pérdida de proteínas miofibrilares. Aún no se ha podido diferenciar si esto se debe al efecto de la hipoxia o a la atrofia fisiológica debido a la menor cantidad de la actividad física y/o nutricional.

### **Mitocondrias**

Los estudios en los que se ha valorado la cantidad (volumen) de mitocondrias en el músculo, después de estancias en altura, muestran datos muy contradictorios; en algunos de ellos se aprecia un mayor número de mitocondrias pero de menor tamaño. Otros autores han mostrado aumentos en la cantidad de proteínas mitocondriales o en el volumen relativo, evidenciando una posible activación de las estructuras responsables del metabolismo aeróbico. Por contraposición a esos resultados, estudios recientes, pero realizados tras estancias superiores a 6000 metros, muestran disminución en el volumen total de mitocondrias musculares de casi un 20%.

La divergencia entre estos estudios (algunos de ellos realizados por los mismos autores, con la misma metodología) solo es explicable por las diferentes altitudes utilizadas y por la influencia del ejercicio físico y de una nutrición incorrecta.

## **Mioglobina**

La mioglobina realiza una importante función en la fibra muscular, facilitando el transporte de oxígeno del capilar a la mitocondria y además como almacén de O<sub>2</sub>. También podría tener la función de mantener suficientemente baja la presión intracelular de O<sub>2</sub> para facilitar el gradiente de difusión del oxígeno capilar al interior de la célula. En el músculo humano los datos son muy escasos, aunque parecen indicar que las personas que nacen en altura, las concentraciones de mioglobina son mayores, mientras que las que realizan un período de aclimatación en altitud, en algunos casos aumenta y en otros no. Algunos estudios encontraron después de un período de entrenamiento intensivo, una disminución de la mioglobina en deportistas de élite, mientras que en situaciones de altitud, cuando el estímulo de hipoxia es suficientemente intenso, se producen en el músculo entrenado aumentos significativos en la concentración de mioglobina.

## **Capilares**

Los estudios llevados a cabo en alturas moderadas muestran una clara tendencia a que aumente la densidad capilar en el músculo, se discute si hay un aumento de la densidad capilar o si se debe a la disminución del tamaño de la fibra muscular. En este último caso mejora la distancia de difusión de los nutrientes.

## **Utilización de sustratos**

En los pocos estudios realizados en seres humanos, se ha observado que durante el ejercicio submáximo en exposición aguda hay un aumento en la movilización de ácidos grasos libres y de su metabolismo. También se observó que después de un período de aclimatación de 18 días a 4300 metros (altitud elevada), los niveles de ácidos grasos libres en reposo eran tres veces superiores a los de nivel del mar, y que realizando ejercicio submáximo, al 85% del VO<sub>2</sub> máx. la depleción de glucógeno era mayor, lo que evidenciaba una mayor utilización de grasas. Este aumento en la movilización de ácidos grasos puede atribuirse al incremento de catecolaminas.

## **Metabolismo glucolítico**

Cuando se estudiaron las actividades de las enzimas glucolíticas en animales no se encontraron cambios con respecto a nivel del mar. Sin embargo cuando se estudiaron en seres humanos se observaron grandes discrepancias. En estudios a 2300 metros con deportistas de élite, con grupo control mostraron una disminución de enzimas glucolíticas (PFK y LDH) en el grupo que entrenaba en altitud.

## **Metabolismo oxidativo**

En el estudio mencionado anteriormente se observó un aumento significativo de las enzimas oxidativas. Cuando se utilizó un modelo de ejercicio con una sola pierna, utilizando la otra como control, para poder realizar la misma intensidad y volumen de entrenamiento en valores absolutos, en altitud y a nivel del mar durante cuatro semanas, las piernas que entrenaron a nivel del mar aumentaron sus enzimas oxidativas, pero las que entrenaron en altura aumentaron significativamente mayor.

## **Capacidad tampón (buffer)**

Mizuno et. al. (1990) realizaron un estudio de esta capacidad en relación a la altitud; en el se ha comprobado que después de un período de entrenamiento en altitud moderada de 2500 – 3000 metros, un grupo de esquiadores de fondo, de alto nivel, mostraron un VO<sub>2</sub> máx. estable en diferentes tests. Sin embargo, encontraron que el déficit máximo de O<sub>2</sub> se había incrementado y esto reflejaba mejor rendimiento en carreras cortas. Biopsias musculares mostraron una capacidad buffer incrementada en el tejido muscular y dicha mejora se correlacionaba con una mejora de la capacidad anaeróbica glucolítica.



## **Energética del metabolismo muscular en altura**

El costo neto de energía de la contracción muscular no cambia en la exposición aguda o crónica (Carretelli 1980). Por lo tanto, la eficiencia mecánica del ejercicio, por ejemplo ciclismo, remo, es la misma. La energía necesaria para ejercicios de resistencia es esencialmente derivada del metabolismo aeróbico. Una disminución de la fracción inspirada de O<sub>2</sub> (PIO<sub>2</sub>) lleva a un decremento de la capacidad aeróbica máxima (VO<sub>2</sub> máx.). La relación entre PIO<sub>2</sub> y el % del VO<sub>2</sub> a nivel del mar no es lineal, teóricamente refleja la forma de la curva de disociación del oxígeno (Ferreti 1990). Esto podría explicar porque atletas desaturan más que los sedentarios (Powers et. al. 1988), por lo que experimentan una mayor caída en el VO<sub>2</sub> máx. cuando ejercitan en hipoxia. Otros estudios describen una mejora en la eficiencia mecánica en la carrera luego de 20 días de entrenamiento en altitudes moderadas.

## **Valoración de los efectos posteriores a la altitud**

Consumo máximo de oxígeno: Es difícil hacer una valoración exacta pero algunos autores opinan que la altitud tiene un efecto más positivo en los deportistas con valores más bajos de VO<sub>2</sub> máx. lo cual es lógico pues cuando se tienen valores elevados de VO<sub>2</sub> es más difícil mejorarlo.

## **Adaptaciones hematológicas**

El aumento de 2,3-DPG desaparece rápidamente al regresar al nivel del mar. Al regresar de un período de estancia en altitud se observa un aumento en los valores de glóbulos rojos y hemoglobina en sangre así como un volumen plasmático disminuido. El aumento de glóbulos rojos podría ser una ventaja para el transporte de oxígeno al músculo, sobre todo cuando el gasto cardíaco regrese a valores normales (3 a 5 días del retorno al nivel del mar).

Las mejoras claras de los niveles de eritropoyetina se han observado a partir de los 3000 metros, aunque efectos prácticos en altitudes como la de ciudad de México (2300 metros) se observan niveles elevados de glóbulos rojos en sus habitantes. Hay que tener en cuenta que solo el riñón nota los niveles de PO<sub>2</sub> normalizado; se disminuye la producción de eritropoyetina y la fabricación de GR, con lo que en un período corto (No se sabe con exactitud) el deportista vuelve a sus niveles de pre – altitud. Algunos autores consideran que el hematocrito no aumenta debido al aumento de GR, sino por la disminución del volumen plasmático y que, para que aumente claramente la hemoglobina se necesitan de 3 a 4 semanas de estancia en altitud. No se conoce con exactitud la duración de las mejoras a nivel hematológico a la vuelta a nivel del mar.

## **Adaptaciones respiratorias**

La hiperventilación que se observa a grandes alturas continúa varias semanas después del retorno a nivel del mar, aunque en un primer momento al perderse el estímulo de la hipoxia en los quimiorreceptores periféricos, se reduce la ventilación. Esta disminución de la ventilación hará que aumente la PCO<sub>2</sub> por encima de los valores anteriores; el aumento en la PCO<sub>2</sub> elevará los niveles de CO<sub>2</sub> en el líquido cefalorraquídeo, lo cual bajará el pH y estimulará los quimiorreceptores centrales y aumentará la ventilación. Por ello, la hiperventilación continua varias semanas después de la vuelta a nivel del mar, hasta que los valores de bicarbonato del LCR vuelven a la normalidad. Si bien no parece que el aumento de la ventilación máxima puede influir en los valores del VO<sub>2</sub> máx., ya que la ventilación no se considera un factor limitante, algunos autores consideran que podría ser beneficiosa en algunos deportes.

## **Adaptaciones metabólicas**

Uno de los factores principales para el rendimiento aeróbico y el metabolismo energético, es la mayor o menor densidad capilar en el músculo. Se conoce que la exposición a la hipoxia favorece la proliferación de capilares musculares; también es un hecho conocido que el entrenamiento de resistencia también produce esos

cambios; está por verificarse todavía si ambos estímulos en deportistas de alto nivel, se potencian o no. En estudios bien controlados se observa una tendencia al aumento de la densidad capilar.

Otro de los factores fundamentales para el metabolismo energético muscular es la actividad de las enzimas oxidativas. Teniendo en cuenta los pocos datos disponibles hasta la fecha, se podría concluir en forma preliminar que el entrenamiento en altitud es beneficioso para el metabolismo oxidativo muscular y el rendimiento aeróbico siempre que se mantengan los mismos niveles de entrenamiento. En caso contrario, dicho entrenamiento será negativo, por lo que, cuando no sea totalmente seguro que en altitud se van a poder mantener las mismas cantidades de entrenamiento que se harían a nivel del mar, es preferible no entrenar en altitud buscando una mejora aeróbica. Este comportamiento diferenciado del metabolismo aeróbico podría explicar los contradictorios resultados en el consumo máximo de oxígeno que se obtienen, algunas veces, a la vuelta de períodos de entrenamiento en altitud.

El otro gran componente del metabolismo energético muscular son las enzimas de la vía anaerobia. Desde un punto de vista teórico, cuando se quiere entrenar de una manera anaeróbica, este entrenamiento se verá favorecido por la altitud, debido a la hipoxia que ello implica. En varios estudios en lo que se valoró el rendimiento en pruebas de gran componente anaeróbico se observaron mejoras después de estancias en altitud en la que se realizó un entrenamiento de tipo anaeróbico. Estas mejoras no pueden achacarse a mayor cantidad de fosfatos de alta energía, ni a una mayor actividad de enzimas glucolíticas (Aumentan en estancias prolongadas a gran altitud).

La tercera causa que puede ser atribuible a una mayor capacidad tampón del músculo esquelético. Un estudio realizado al respecto en músculo humano ha mostrado una mejora en el rendimiento anaeróbico.

Estudios realizados en los altiplanos de Kenia abren también nuevas perspectivas, pues orientan sobre la idea de que el entrenamiento en altitud puede mejorar los valores de déficit acumulado de oxígeno, lo que implica mejora de la capacidad anaeróbica. También parece que disminuye la producción de amoníaco en el músculo en ejercicio, o aumentan su aclaramiento.

En resumen, 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 para mejora un solo componente metabólico, hay que planificar en que momento o momentos de la temporada se realiza y hay que individualizar las cargas de entrenamiento. Además debido a la respuesta tan individualizada de los deportistas a la altitud, es conveniente realizar una estancia previa en altitud para valorar esas respuestas.

### **Máxima performance en altitud y fatiga MUSCULAR**

Como es bien sabido, la intensidad del ejercicio máximo involucrando grandes grupos musculares decrece en la altitud. Esta reducción en la potencia máxima es mayor a mayor altitud, y no parece ser influenciada por la aclimatación (Cerretelli, 1980; Ward, et. al. 1990). Por lo contrario, durante el curso de la aclimatación la máxima acumulación de lactato en sangre como consecuencia de un ejercicio de alta intensidad decrece progresivamente. (Eduards, 1936; Cerretelli 1980; West, 1986). Este fenómeno también es conocido como la "paradoja del lactato" aún no tiene explicación. En sujetos aclimatados a gran altitud (5000 metros.) biopsias del músculo vasto lateral tomadas inmediatamente después de un test progresivo de ciclismo mostraron que en el agotamiento, el sustrato de energía nucleótido de adenina fue menos deplectado, tenía menos lactato acumulado, menos glucógeno degradado mientras que el pH muscular era más elevado comparado con las mismas condiciones a nivel del mar (Green et al. 1989). Un alto pH muscular y bajo nivel de lactato también fue confirmado por otros autores (Bender, et. al.; Green et. al.; Young et al.). Varias hipótesis han sido investigadas para explicar este fenómeno, como la disminución de la capacidad buffer, la capacidad de la excitabilidad de las motoneuronas alfa en el sistema nervioso central provocadas por la hipoxia hipobárica a partir de estudios realizados por B. Kayser, se realizaron determinaciones electromiográficas y metabólicas de

los factores que limitan la performance y la influencia de la masa muscular en la fatiga, no encontraron signos de fatiga, electromiográficos ni metabólicos. Una conclusión de estos trabajos es que la fatiga en grandes altitudes, en hipoxia crónica y para esfuerzos de grandes grupos musculares, el sistema nervioso central (SNC), tiene un papel limitante en esfuerzos llevados hasta el agotamiento. A gran altura la contribución diafragmática a la ventilación durante el ejercicio decrece en el tiempo. Esta fatiga diafragmática puede contribuir, vía inhibición refleja a una limitación de la activación motora en gran altitud. Sin embargo, queda abierta otra cuestión y otros posibles mecanismos, como la disminución de la disponibilidad de O<sub>2</sub> en el SNC, esto también podría jugar un rol importante.

Según Mishchenko y Monogarov al realizar trabajo pesado, sobre todo en altura, la disminución de la concentración de bicarbonato sería el responsable de la disminución de la aparición de lactato en sangre, provocando acidez intracelular y alcalosis extracelular, lo cual provoca fatiga muscular local como factor limitante en las cargas físicas efectuadas en la altura. Mediciones de pH muscular pos ejercicio mostraron valores significativamente más elevados que a nivel del mar. Podría postularse que existe un déficit en el transporte de protones H<sup>+</sup> o de lactato pero se contradice con algunos hechos tales como la distribución en los compartimentos intra y extracelular de lactato es similar a la de normoxia b) La cinética arterial de lactato durante la recuperación post esfuerzo supramáximo hasta el agotamiento es similar a la de normoxia c) El pH muscular es más alcalino. d) En el agotamiento el lactato arterial y muscular son más bajos que en normoxia.

Según Davies una alcalosis respiratoria a nivel del mar provoca un incremento en los niveles de lactato o una mayor capacidad glucolítica. Por lo tanto el efecto de aumento de la ventilación luego de la exposición a la altitud podría actuar por este mecanismo mejorando el rendimiento en esfuerzos supramáximos.

## **Conclusión**

El entrenamiento en altura es un recurso especial para generar una sobrecarga adicional que afecta al deportista en su totalidad. El momento de aplicación puede variar según el objetivo perseguido, puede ser el de mejorar la performance para competir en el llano (baja altitud) o para competir en altitud. En este último caso es importante conocer la altitud de la prueba pero sabemos que los efectos perjudiciales son dependientes de la misma, por lo que respetando el principio de la sobrecarga parece lógico no alcanzar repentinamente alturas elevadas para entrenar, sobre todo si sobrepasan los 3000 metros, algo habitual en Sudamérica. Las alturas de entrenamiento varían en un rango de 1700 a 2500 metros según diferentes autores sin embargo recomendable un rango entre 2000 y 2500 metros como máximo. Para entrenar en mayores altitudes, es razonable hacerlo en altitudes escalonadas inclusive con ascensos y descensos respetando los mecanismos de adaptación para cada altura, tal como se hace en el montañismo para evitar una caída brusca y significativa de la carga absoluta de trabajo y los efectos negativos de la hipoxia hipobárica por encima de las altitudes moderadas. Podemos esperar mejoras en la resistencia de base, en la resistencia a la fuerza, mejorar la capacidad buffer en el músculo esquelético para una mayor capacidad glucolítica anaeróbica, una mayor tolerancia a la fatiga y una mayor recuperación en períodos de competencia, mayor control de destrezas técnicas (bajo condiciones afectadas por la hipoxia).

Cuando se plantea la necesidad de realizar entrenamiento en la altura es conveniente tener en cuenta previamente las evaluaciones médica, antropométricas y de capacidades condicionales del deportista. Aunque parezca obvio, conocer exactamente la altitud a la que se va a entrenar, el terreno y las condiciones climáticas de la misma. Sobre estos datos es posible determinar los objetivos y utilizarlos de manera conveniente dentro de la estructura de la planificación.

De esta manera, durante la fase aguda o de acomodación (3 a 5 días iniciales) se harán las siguientes recomendaciones generales:

- Al arribar moverse con cautela y no hacer trabajos intensivos de ningún tipo.
- Alimentarse con regularidad y moderación con una dieta rica en carbohidratos e hidratarse.

- Protegerse de la radiación ultravioleta con cremas pantallas y anteojos anti UV.
- Realizar controles de peso e hidratación
- Controles médicos y bioquímicos
- La actividad física o entrenamiento debe ser de baja intensidad, con pausas más prolongadas.
- Antes de partir debe constatar un buen estado de salud, buena capacidad aeróbica y anaeróbica.

Luego de la acomodación le sigue el período de adaptación gradual de los mecanismos fisiológicos compensatorios que permiten una mayor capacidad de trabajo, según algunos autores puede durar de 3 a 6 semanas para una mayor eficacia del entrenamiento.

Durante este período la carga puede incrementarse gradualmente tanto en la resistencia aeróbica como en la velocidad, resistencia de fuerza y áreas anaeróbicas. En la medida en que la aclimatación mejora las respuestas a la carga impuesta (factores individuales) se producirán mejoras en el rendimiento. Al final es recomendable 2 o 3 días de descarga.

Al regreso a baja altitud le sigue una fase de readaptación durante la cual aparecen algunos síntomas como irregularidad respiratoria, bradicardia, sensación de fatiga al esfuerzo, que se van regularizando gradualmente. Los efectos de la altura pueden evidenciarse entre los 7 y los 30 días de esta fase.

## **SOBREENTRENAMIENTO EN DEPORTES DE MONTAÑA**

No es fácil definir el sobreentrenamiento. Son muchos los factores que pueden provocar esta situación, pero en cualquier caso sus consecuencias son nefastas para el deportista. El cuerpo humano es una máquina que requiere un mantenimiento muy preciso si se desea llevarlo a un estado de máximo rendimiento físico.

El sobreentrenamiento se produce por el efecto repetido de hechos que superan la capacidad de asimilación de nuestro organismo. Lo más habitual es pensar en un "exceso" de entrenamiento. De hecho suele ser así. Pero lo importante es comprender que el progreso físico es un ciclo continuo de trabajo y recuperación. Ambas entidades determinan el avance, el estancamiento o el retroceso. Nos sobreentrenamos cuando no somos capaces de equilibrar el ritmo de trabajo–recuperación. Sea cual sea tu condición física, eres susceptible de encontrarte en este estado. Pensar que es exclusivo de atletas confirmados es un error. Muchos aficionados al deporte creen que un estado de cansancio "perenne" es propio de la actividad deportiva. Falso. El estado habitual del deportista debe ser la plenitud, con independencia de que en determinadas fases de su preparación y/o competiciones la fatiga esté presente.

El deporte es para muchos una actividad gratificante y su aporte a nuestro bienestar físico y emocional es palpable en muy poco tiempo si se respetan unas líneas directrices elementales. Consecuencia de este estado de plenitud, la motivación por la práctica de nuestra actividad deportiva aumenta considerablemente, tanto a veces, que supera el potencial de nuestro organismo para asumir la carga de trabajo. Es fácil pensar que si hoy hemos entrenado durante dos horas a buen ritmo y aún así sentimos que nos quedan fuerzas, 3 horas hubieran sido todavía más productivas. Tal vez, pudiera ser, pero no hay garantías. El principio de "más igual a mejor" es anacrónico y quienes lo defienden demuestran su ignorancia, pero es en el caso de los entrenadores donde no se puede admitir. Muchos deportistas han destrozado sus carreras deportivas al someterse durante largo tiempo a entrenamientos extenuantes que no respondían a un planteamiento personalizado. Tal vez un exceso de autoestima o tal vez un entrenador incapaz, o lo que es peor, un entrenador frustrado que asigna los entrenamientos como si de una guerra se tratase.

El ciclo "esfuerzo–recuperación" requiere de un contexto específico a cada persona. El esfuerzo debe ser gradual y contemplar periodos con objetivos concretos. De lo contrario el deportista no canaliza correctamente su trabajo, y en unos casos no incide con suficiencia, y en otros lo hace más allá de sus posibilidades. Esta es una situación, por desgracia, muy frecuente.

Volvamos al sobreentrenamiento. Éste puede ubicarse en tres niveles que nos permitan situar nuestro estado. En ningún caso son preceptos inamovibles. Posteriormente comentaremos los hechos más frecuentes que lo provocan y la forma de evitarlo.

### **Sobreentrenamiento leve**

El deportista no está especialmente motivado por el entrenamiento. Con independencia de si compites o no, entrenar no debe ser un calvario. Nadie duda que quien decide llevar su esfuerzo deportivo al plano de la competición debe luchar contra situaciones incómodas, (dolor físico, calor, frío, etc.), pero son inherentes a su actividad y el deportista lo sabe. Si el calor, un programa de televisión o cualquier otro hecho de poca relevancia en circunstancias normales de motivación, nos hacen pensar si debemos o no entrenar, podemos tener el inicio de un sobreentrenamiento. Esta situación si es aislada no debe preocuparnos, pero si se identifica con frecuencia, algo ha cambiado.

En este punto es esencial hacer referencia al aspecto emocional del sobreentrenamiento. Es frecuente encontrar una evidente conexión entre rendimiento físico y mental. De hecho se puede constatar el positivo efecto que ejerce la actividad física moderada en personas con problemas emocionales, en especial, aquellos relativos a la falta de seguridad en uno mismo. Este importante aspecto lo trataremos en un futuro artículo. Si el deportista ha tenido recientemente, o está teniendo, problemas de índole emocional, (pareja, familia, amistad, valores personales, inseguridad laboral, cambios drásticos de contexto personal, etc.), es normal que su motivación por el deporte se resienta. En este caso se debe ser especialmente cuidadoso y valorar lo que supone el deporte para la persona y lograr que este aporte a la solución del problema o en su defecto, a la mejor asimilación del mismo.

Si no encontramos causas aparentes que puedan hacer que se resienta la motivación, su descenso, como ya indicábamos es una primera señal. El segundo aspecto que podemos reseñar es la percepción de la merma en nuestro rendimiento. Oímos con frecuencia a esquiadores de montaña o fondo decir, "hace dos semanas por aquí iba como una moto y los dos últimos días no puedo" o también, "no lo entiendo, parece que se me haya olvidado hacer los giros". Ambos casos delatan una disminución en el rendimiento. En el caso de deportes que requieran cierta técnica para aprovechar al máximo el esfuerzo es muy típico ver como el estilo se "pierde" cuando estamos fatigados. Por ejemplo, en los esquiadores de fondo, (al margen de problemas con las ceras), excesivos patinazos, en montaña, giros incompletos que provocan caídas.

En tercer lugar, y como consecuencia lógica, sensación de que "algo no va bien". Parece obvio, pero cuando el deportista se encuentra plétórico raras veces cuestiona su preparación. En el momento en el que surgen dudas sobre la validez del trabajo realizado también podemos encontrar un indicador. Es esencial reseñar en este aspecto que muchos deportistas, incluso los que alcanzan un rendimiento que los sitúan en lo más alto de las competiciones, no entienden claramente el efecto del entrenamiento y como se comporta su organismo durante la preparación desde una óptica global. Sencillamente hacen lo que les dicen o lo que siempre han hecho, o lo que es peor, someten su preparación estrictamente a sus inquietudes a corto plazo, lo que es adecuado para quien busca sentirse "sano", pero absolutamente inoportuno para quien desea alcanzar un rendimiento óptimo y creciente.

Por ello es fundamental comprender el efecto del trabajo en el tiempo, respetando fases de avance, otras de mantenimiento, y, aceptémoslo, otras de descenso de las prestaciones. Esto nos invita a pensar que un deportista serio sabrá reconocer en que situación se encuentra actualmente y diferenciar entre una fase de "no avance" y un estado de sobreentrenamiento.

No obstante, aunque no busques un objetivo competitivo tu preparación debe respetar un ciclo lógico de trabajo y recuperación. No abuses si no dispones de tiempo suficiente para descansar, no puedes alimentarte correctamente o no disfrutas de un estado emocional que garantice la asimilación de tus entrenamientos. Adecua tu esfuerzo a tu contexto de recuperación. Siendo realistas, si trabajas 8 o 10 horas estando de pie,

comes cuando puedes y lo que puedes y al llegar a casa encuentras un clima "difícil" que aún se acrecienta por el hecho de practicar deporte, (algo tristemente habitual), tu rendimiento no será el que alcanzará un individuo con el mismo perfil genético pero que disfrute de suficiente tiempo libre, alimentación acertada y personas que se ilusiones con sus objetivos. Ser realista con uno mismo es un excelente método de llegar todo lo lejos que tus circunstancias te permitan. Conocemos casos de personas que con una preparación aparentemente escasa pero muy adaptada al contexto de recuperación, (más entrenamiento aquellos días que se sabe que se podrá a continuación descansar más y mejor, por citar un ejemplo), han logrado avances substanciales, frente a, por desgracia, personas que con "circunstancias difíciles" se han obcecado en entrenar de forma muy intensa y que apenas a mejorado.

Finalmente en este apartado de "leve sobreentrenamiento" el deportista puede reconocer claramente sensaciones fisiológicas, como un pulso en reposo superior entre 5 y 10 pulsaciones al medido en condiciones de equilibrio "esfuerzo-recuperación", dolor o pesadez muscular e incluso disminución en el deseo sexual. Como parece lógico, todas las circunstancias pueden entremezclarse, complicar el proceso y por supuesto, confundir al deportista sobre su situación física.

### **Sobreentrenamiento moderado**

Como ya hemos comentado los tres niveles de sobreentrenamiento expuestos son simplemente una clasificación que nos permita conocer el impacto de nuestra fatiga. Este segundo nivel, denominado "moderado" es producto de la insistencia. Si ya identificamos los síntomas o señales del estadio anterior, continuar con un entrenamiento intenso nos sitúa en un estado de riesgo potencial para nuestra salud como deportistas.

En situaciones normales, una persona sensata disminuiría el trabajo deportivo. No obstante, bien por una obsesión, motivación pernicioso o exigencias deportivas, el atleta puede insistir. Es común oír a deportistas decir, "esta semana más de entrenamiento duro y después descanso". Normalmente el tiempo juega en contra y se pretende lograr en pocos entrenamientos lo que razonablemente debería haberse obtenido en un periodo mayor que contemplara sesiones de asimilación.

En este punto sólo nos queda emplear la sensatez y comentar qué podemos hacer si hemos entrado en el desagradable estado de sobreentrenamiento.

En primer lugar, acudir inexcusablemente a un médico deportivo que nos realice las pruebas necesarias para determinar la gravedad del sobreentrenamiento. No acudir, bajo ningún concepto a personas que carezcan de una visión global y que con remedios caseros o milagrosos puedan recuperarnos. Sólo el médico puede conocer la realidad del problema. Nuestro consejo es que no esperes a pensar en si debes seguir con el deporte o no. En cuanto sientas debilidad, malestar, dificultad para completar tus entrenamientos, o simplemente, cuando crear que "algo no va bien", acude al especialista.

En segundo lugar, y en paralelo a la medida anterior, cesa inmediatamente con cualquier actividad deportiva exigente. Algunos días de descanso total serán positivos. Cuando te encuentres algo mejor, prueba con otras actividades deportivas en las que no tengas referencias de tu rendimiento. Prueba, si puedes, algún deporte de equipo o disfruta de paseos por el campo. Si practicas alguna modalidad de ski, lleva los bastones y trabaja también tus brazos.

El tiempo de descanso activo sólo lo puede determinar tu médico. No obstante piensa que si el exceso es "leve" 8 o 10 días pueden ser suficientes si sabes hacer correctamente las cosas: fuera obsesiones, descanso incrementado, al menos una hora más de sueño al día, y una alimentación especialmente cuidada en la que abunden verduras y frutas, cantidades moderadas de pescado azul y frutos secos y una base sólida de legumbres y pastas. Evita al máximo los fritos, el embutido, el alcohol y los azúcares refinados.

Desde este momento incorpora el pulsómetro en tu preparación. Empléalo siempre que quieras tener un control del entrenamiento. Su verdadero valor está en que te permite "no pasarte", algo difícil cuando uno se siente bien, pero como ya hemos indicado, un entrenamiento planificado contempla sesiones intensas, pero otras muchas, deben mantenerse dentro de unos límites, y es ahí, donde tu pulsómetro te ayudará a no sobreentrenarte.

La siguiente medida, es de sentido común, pero al parecer es un sentido "poco común". Entrena a tu ritmo. Si lo haces con compañeros aclara tus objetivos de ese día y cíñete a lo establecido. Podéis pactar algunos puntos del recorrido donde poder reagruparos. En el esquí de fondo o montaña las diferencias en las ascensiones pueden ser tales, que unos pueden mantener el habla y otros sólo podrían balbucir "socorro". Los segundos apuestan fuerte por el sobreentrenamiento. Si contemplas el entrenamiento en grupo como una carrera, nunca llegarás a correr carreras de verdad. Si tu orgullo es tal que cada entrenamiento es "a vida o muerte", debes reflexionar seriamente sobre el sentido, y no sólo eso, si no sobre las consecuencias, de esa forma de pensar.

Incluye alguna bebida deportiva para tu hidratación en los entrenamientos exigentes o en los que las temperaturas te hagan sudar mucho. No obstante no desatiendas la hidratación en los momentos fríos. Se produce una deshidratación importante aunque no lo creas. Igualmente come cuando las sesiones superen la hora y media. En cualquier caso no pases muchas horas entre cada comida. Hay muchos suplementos deportivos que se transportan cómodamente y que no deben faltar en las sesiones largas. Una falta de alimento puede agravar la situación. Por desgracia muchos deportistas no entienden el pernicioso efecto de entrenar con unos niveles bajos de azúcar en sangre. Simplemente cuidando este aspecto, muchos deportistas pueden mantener durante más tiempo el rendimiento.

Finalmente, recuerda que si en tu preparación te quedas corto, siempre podrás mejorar, pero si te pasas, probablemente pierdas mucho más tiempo en recuperar tu forma.

### **Fisiología del ejercicio aplicada al niño**

Cuando enfrentamos la bibliografía que refiere al organismo humano y su respuesta frente al esfuerzo físico, nos encontramos casi siempre que la mención de las mismas se refiere al individuo adulto y por lo general a los deportistas. Así sea para adaptarse al ejercicio simple u ocasional o al ejercicio regular, el niño – como el adulto – experimenta cambios fisiológicos particulares.

### **Respuestas metabólicas**

**El Metabolismo Aeróbico:** El VO<sub>2</sub> Max. (Consumo máximo de oxígeno) refleja el nivel del metabolismo aeróbico y su reconversión de energía. El VO<sub>2</sub> Máx. en valores absolutos (lts. min.) aumenta con la edad sin grandes diferencias entre ambos sexos hasta los 12 años aprox. , a partir de aquí los varones marcan un aumento comparativamente mayor que niñas. El aumento se mantiene en los varones hasta los 18 años y en las niñas hasta los 14 años.

De acuerdo a esto la potencia aeróbica absoluta esta menos desarrollada en los niños que en los jóvenes y adultos. Lo que sucede es que el niño, cuya masa corporal es pequeña, no necesita un elevado VO<sub>2</sub> Máx. Absoluto. Por ésta razón para poder comparar la Máxima Potencia Aeróbica entre individuos que difieren en su masa corporal, es necesario expresar el VO<sub>2</sub> Máx. en valores relativos, o sea en relación al peso corporal ( ml.kg.min.)

El VO<sub>2</sub> Máx. en valores relativos, no varía casi nada en los varones, pero disminuye continuamente en las niñas fundamentalmente a partir de la pubertad. Esta caída en las niñas debe atribuirse, entre otros factores, al incremento de la grasa corporal que se aprecia en ellas con el paso de los años.

Las diferencias entre ambos sexos, se hacen mínimas si comparamos el VO<sub>2</sub> Máx. en relación a la masa

corporal magra, lo que nos confirma el concepto anterior.

Otro aspecto importante es el estudio de la Eficiencia mecánica en relación al VO<sub>2</sub> Máx. El costo de la marcha y la carrera es mayor en los niños expresado en valores relativos. Cuanto más joven mayor es el costo del ejercicio, lo que refleja como concepto un aumento en la economía del movimiento a partir del desarrollo.

Con estos elementos aparecen contrapuestas 2 variables, por un lado el alto VO<sub>2</sub> Máx. en valores relativos y por otro el alto costo metabólico de la marcha y la carrera. El ejercicio regular disminuye el costo energético del esfuerzo, o sea aumenta la eficiencia mecánica.

Si tomamos la diferencia entre el VO<sub>2</sub> Máx. y el VO<sub>2</sub> necesario para la realización del ejercicio, representamos la Reserva Metabólica. Y es aquí donde los niños se encuentran en desventaja. Por ejemplo, si tomamos una intensidad de carrera de 180 mts. por minuto, vemos que un niño de 8 años trabaja al 90 % de su VO<sub>2</sub> Máx. , mientras uno de 16 años – para la misma intensidad – trabaja solo al 75% de su VO<sub>2</sub> Max.

Este es uno de los elementos para explicar la menor capacidad de los niños sobre carreras de resistencia de larga duración. Podemos decir que metabólicamente los niños pueden mantener una carrera lenta por un tiempo importante, pero generalmente su nivel de concentración no se los permite.

En los niños las enzimas Oxidativas trabajan mejor que las glucolíticas, presentando similar capacidad que los adultos en cuanto al reclutamiento de fibras tipo I (Ia y Ib) y también al volumen mitocondrial. Incluso pueden tener mayor número de mitocondrias y del conjunto de componentes enzimáticos oxidativos, lo que determina una posibilidad de mayor aprovechamiento de los ácidos grasos libres en relación a los adultos. (Bell, Mac Dougall, Billeter, Howald, Weiss, 1981).

**El Metabolismo Anaeróbico:** La capacidad de los niños de trabajar en forma Anaeróbica es sensiblemente menor a la de los adolescentes y a la de los adultos. Por ejemplo, la potencia Anaeróbica generada por un niño de 8 años es el 70% de la que puede generar uno de 11 años.

Una serie de características bioquímicas fundamentan ésta condición, donde se destaca un menor nivel de reservas de Glucógeno y fundamentalmente una menor capacidad enzimática glucolítica ( PPK, PDH, LDH)

Si comparamos la potencia Anaeróbica alactácida con la lactácida – ambas componentes de la potencia Anaeróbica – apreciamos una diferencia de comportamiento entre ambas. Desde el punto de vista metabólico el niño puede realizar esfuerzos de breve duración y alta intensidad , no siendo otra cosa que el modo natural de jugar, expresado por una alta potencia alactácida similar a la de los adultos y con una alta entrenabilidad.

Mientras que la energía para el trabajo intenso y prolongado es muy limitada debido a las pobres condiciones enzimáticas y de los sustratos de la vía metabólica lactácida. A lo que se agrega que su estimulación temprana es inútil debido a la falta de predisposición metabólica–enzimática, expresada en la baja capacidad de producir lactato.

Niños de 5 a 6 años presentaron un 50% de la función de la LDH en comparación con sus valores 10 años después. (Haralambie)

Si observamos la transición aeróbica– anaeróbica y la deuda de oxígeno, vemos que los niños tienen una transición hacia la fase estable más corta que en los adultos. Si lo expresamos numéricamente los niños necesitan 2 minutos para alcanzar la fase estable, mientras los adultos necesitan 4 minutos. Este menor tiempo de transición determina que el niño no necesite "hechar mano" importante a la vía glucolítica.

Pero además, es lógico pensar que un cuerpo pequeño puede abastecerse más rápido de oxígeno que uno grande.



## **Respuestas cardiovasculares**

El gasto cardíaco (Q), para iguales  $VO_2$ , es algo menor en los niños que en los adultos. El gasto cardíaco máximo es menor en valores absolutos en los niños más pequeños, lo que determina una disminución del poder transportador de oxígeno que se encuentra compensado en parte por una mayor capacidad de extracción del mismo.

El volumen sistólico (V.S.), es marcadamente menor en todos los niveles de ejercicio. Para iguales  $VO_2$  Máx. los más jóvenes tienen corazones más pequeños, lo que es un factor determinante del menor volumen sistólico.

Esto nos confirma una mayor diferencia arteriovenosa de oxígeno (dif. A-v  $O_2$ ) como expresión de una capacidad de extracción de oxígeno aumentada.

La Frecuencia cardíaca (F.C.) compensa en parte el bajo volumen sistólico, ya que es siempre mayor, en todos los niveles de ejercicio. Los valores máximos de la misma disminuyen casi 1 ciclo por minuto al año. Los valores submáximos también declinan con los años lo que representa el aumento de la llamada Reserva cardíaca.

El mayor Flujo Sanguíneo Muscular en los niños representa una más favorable distribución de la sangre durante el ejercicio. Esto facilita el transporte de oxígeno al músculo activo y junto con el aumento de la diferencia arteriovenosa de oxígeno compensa el bajo gasto cardíaco.

El comportamiento de la presión arterial (P.A.) muestra valores sensiblemente menores para edades menores. En ejercicios dinámicos la P.A. sistólica aumenta en relación al aumento del gasto cardíaco y la frecuencia cardíaca, mientras la diastólica se mantiene debido a la baja resistencia periférica. En ejercicios estáticos la P.A. sistólica y diastólica aumenta en relación directa al grado y duración del esfuerzo.

El niño activo aumenta su volumen cardíaco, ya que sigue las mismas leyes adaptativas que el adulto, el ejercicio aeróbico en el período prepuberal estimula el aumento de la red vascular periférica, lo que determina que en los años sucesivos la sobrecarga presora sea menor. El trabajo cardiovascular aumenta predominantemente sobre la base del aumento predominante de la frecuencia cardíaca sobre el volumen sistólico, con una baja eficiencia cardíaca.

Alcanzan con facilidad frecuencias de 200 o más ciclos por minuto, con curvas ascendentes y descendentes del pulso de comportamiento similar a las de los adultos. Esta diferencia en el comportamiento del pulso se debe a un predominio del sistema simpático adrenérgico, factor determinante de sus elevadas frecuencias cardíacas.

Con el entrenamiento aeróbico los niños están capacitados de manera similar a los adultos en cuanto a:

- Incrementar el Consumo de oxígeno en valores relativos.
- Incrementar la silueta cardíaca.
- Reducir la frecuencia cardíaca para igual esfuerzo submáximo.

Los niños pueden incluso llegar a un  $VO_2$  Máx. de aproximadamente 70 ml/kg/min., magnitud que poseen los buenos fondistas adultos (Keul, 1982) Esto no significa que niños entrenados presenten iguales rendimientos que los adultos ya que su menor contenido de hemoglobina, su ineficiencia cardíaca, su estructura mecánica pequeña y su porcentaje menor de masa muscular, marcan diferencias absolutas importantes.

## **Respuesta respiratoria**

La respuesta al ejercicio en los niños es similar a la de los adultos, con algunas diferencias cuantitativas. La Ventilación Pulmonar (VE) máxima, en valores absolutos aumenta con la edad y en valores relativos es igual en adultos, jóvenes y niños. La VE submáxima disminuye con la edad, lo que sugiere una menor Reserva Ventilatoria en las edades infantiles.

La VE y el VO<sub>2</sub> aumentan linealmente hasta el punto del "breaking" respiratorio donde la VE se acelera marcadamente, determinando una elevación del Equivalente Respiratorio debido a tener que aumentar la cantidad de litros de aire movilizados por cada litro de oxígeno consumido.

Si analizamos el comportamiento del Equivalente Respiratorio, el niño presenta una ventilación antieconómica, ya que debe mover más aire por litro de oxígeno consumido. Comparado con adultos y adolescentes, los niños responden al ejercicio con una alta Frecuencia Respiratoria (F.R.) y una ventilación superficial.

La volumetría pulmonar nos muestra un conjunto de parámetros que están directamente relacionados con las dimensiones corporales. Por ello no podemos decir que – para iguales dimensiones – el niño activo tiene pulmones más grandes. Sin embargo los niños activos poseen volúmenes pulmonares más elevados, lo que no representa una contradicción, sino que se refiere a que el niño activo posee una mayor coordinación neuromuscular que determina un mejor uso del diafragma.

A la fisiología del ejercicio aplicada al niño le falta aún camino por recorrer, esperando resultados de numerosos estudios longitudinales en proceso, que nos darán una valiosa información para el desarrollo futuro de la educación física y el deporte infantil.