



Revista de
*Medicina e
Investigación*



ORIGINAL

Un viejo paradigma: El ejercicio aeróbico a 4000 msnm ¿Es útil o no?**M. L. Márquez-López^a * H. M. Tlatoa-Ramírez^a, H. L. Ocaña-Servín^a**^a Universidad Autónoma del Estado de México, México* Autor para correspondencia: Centro de Medicina de la Actividad Física y el Deporte. Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, México. Correo electrónico: lizetcilla79@hotmail.com

Recibido: 13 de julio de 2015

Aceptado: 24 de junio de 2016

PALABRAS CLAVEGrandes alturas,
deporte aeróbico.**Resumen**

La adaptación a una nueva altura sobre el nivel del mar, es un proceso fisiológico que se inicia ante la exposición a la altura y se caracteriza por taquipnea para mantener la adecuada oxigenación de la sangre, taquicardia para asegurar el transporte de oxígeno hacia las células y poliglobulia con incremento en la concentración de hemoglobina. El objetivo de esta investigación es determinar el comportamiento de la taquipnea, taquicardia y tensión arterial en marchistas universitarios en un campamento a 4000msnm, durante 24 días en la Paz, Bolivia, partiendo de una altitud de 2680msnm (altura de la ciudad de Toluca, Estado de México). Método: Estudio cuasi-experimental en marchistas de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM); con un periodo mínimo de 1 año de preparación, con antecedentes de exposiciones previas a altitudes de 4000msnm.

Los registros fueron hechos en la Paz, Bolivia a la llegada y los subsecuentes en condiciones basales en posición supina o en decúbito lateral. Resultados y conclusiones: Se estudiaron a 4 atletas: 3 del sexo masculino (75%) y 1 del sexo femenino (25%) con edades entre 20-24 años de edad. El tiempo global de adaptación en los 4 atletas fue de una semana, tiempo menor del reportado en la literatura. Sin embargo, en este estudio la frecuencia respiratoria fue el primer indicador en presentar adaptación entre 48-72 hrs; seguido de la saturación de oxígeno (6 días), la frecuencia cardiaca (8 días) y por último, la presión arterial con 10 días.

KEYWORDS

High altitudes, aerobic sport.

An old paradigm: Aerobic exercise at 4000 meters Altitude above Sea Level. Is it useful or not?

Abstract

Adapting to a new height above sea level is a physiological process that begins at the altitude exposure and is characterized by tachypnea to maintain adequate oxygenation of the blood, tachycardia to ensure the transport of oxygen to the cells and polycythemia with increased hemoglobin concentration. The objective of this research was to determine the behavior of tachypnea, tachycardia and blood pressure in university marchers in a camp 4,000 m for 24 days in La Paz, Bolivia. Methods: A quasi-experimental study on marchers at the Autonomous University of the State of Mexico (UAEM) with a period of 1 year in the making, with a history of previous exposures to altitudes of 4,000 m. The records were made in La Paz, Bolivia on arrival and subsequent at baseline or lateral decubitus position. Results and conclusions: Three males (75%) and one female (25%) aged 20 to 24 years old were studied. The overall adaptation time in the 4 athletes was 1 week as reported in the literature, however in our study the respiratory date was the first indicator to present adaptation between 48 and 72 hours, followed by oxygen saturation (6 days), heart rate (8 days) and blood pressure last 10 days.

Introducción

Cuando el organismo humano es sometido a una exposición a la altura, se ponen en marcha sistemas reguladores que se oponen al desequilibrio del medio interno, utilizando el margen de funcionamiento de diferentes órganos. La eficacia de los sistemas reguladores es estrictamente individual.

El medio ambiente de altura enfrenta al ser humano a diversas situaciones adversas: disminución de la humedad ambiental, la gran amplitud térmica, el difícil acceso, el viento, la elevada radiación solar. Dichos factores disminuyen el rendimiento físico en altitud.

Los ajustes funcionales en la mayoría de los casos pasan desapercibidos, pero en algunas personas pueden manifestarse, en éstas los síntomas se inician entre las 4 a 8 horas de su llegada a la altura, tienen un punto máximo entre las 24 y 36 horas, desapareciendo, en algunos casos, con medidas muy simples, entre las 72 a 96 horas de la llegada a la altura.

La falta de aclimatación se presenta en un número reducido de personas, especialmente sensibles a la hipoxia hipobárica o con antecedentes de patología, cuyos síntomas o signos se magnifican en la altura. De una manera general existen conocidos factores favorecedores o predisponentes para la falta de aclimatación, como son:

- Sensibilidad individual
- Ascenso rápido
- Edad entre 14 y 18 años
- Hiposensibilidad al estímulo hipoxia
- Aclimatación previa
- Obesidad
- Tabaco (juega un rol mínimo)
- Enfermedades broncopulmonares agudas y crónicas
- Enfermedades cardíacas

En algunos casos de la falta de aclimatación a la altura se presentan manifestaciones más o menos importantes, se habla del "Mal agudo de montaña" (MAM). Para altitudes que fluctúan entre los 4.000 y 4.500 m. Existen estudios que demuestran que para tal nivel de altura la incidencia de MAM oscila entre 43 y 83%.

Se puede reconocer la importancia de la relación entre la permanencia previa en la altitud y la velocidad de ascenso sobre la incidencia MAM para una altura 4.243 m. También se puede presentar Edema Pulmonar de Altitud; Edema Cerebral de Altitud; accidentes isquémicos, hemorrágicos o tromboembólicos; enfermedad crónica de montaña; entre otras¹⁻⁴.

En promedio se puede esperar que el consumo máximo de oxígeno (VO_2 máx), disminuya a medida que incrementa la altura, teniendo una disminución de 2% por cada 300m por encima del nivel del mar. Por ende a 3000 msnm el VO_2 máx. de atletas bien entrenados será 20% menor del valor medido a nivel del mar⁵. Otros autores mencionan que a partir de los 1524 msnm el descenso va de 1.5 a 3.5% del VO_2 máx. y a 6248 msnm el VO_2 máx. es la mitad del valor registrado a nivel del mar.

La concentración muscular de fosfatos disminuye de manera proporcional a la captación de oxígeno disminuida, mientras

Tabla 1. Variables relacionadas en altitud¹

VARIABLE	CAMBIO
Temperatura ambiental	Disminuye 2°C cada 300m de aumento en altitud
Humedad ambiental	Disminuye en forma variable según cambios de temperatura y condiciones climáticas, en general disminuye conforme aumenta la altitud
Radiación Solar	Aumenta un 10% cada 1000m de aumento en altitud
Radiación Ultravioleta	Aumenta un 35% cada 1000m de aumento en altitud

La aclimatación o adaptación a la nueva altura sobre el nivel del mar es un proceso fisiológico que se inicia inmediatamente ante la exposición a la altura y se caracteriza fundamentalmente por una taquipnea para mantener la adecuada oxigenación de la sangre, una taquicardia para asegurar el transporte de oxígeno hacia las células y, posteriormente una poliglobulia e incremento en la concentración de hemoglobina. Estas manifestaciones mayores están acompañadas por una serie de ajustes que el organismo efectúa en sus funciones para responder adecuadamente a la menor presión de oxígeno en el aire ambiental.

que los capilares tienen una mayor concentración en el músculo esquelético, reduciendo la distancia para la difusión de oxígeno entre la sangre y los tejidos, aumentando la mioglobina hasta 16% después de la aclimatación. Con un aumento del número de mitocondrias y en la concentración de las enzimas requeridas para la transferencia aeróbica de energía; aumentando el almacenamiento de oxígeno en los músculos específicos y facilitando la provisión y utilización intracelular de oxígeno, especialmente a PO_2 tisulares bajas⁶.

Tiempo requerido para la aclimatación

Este periodo depende de la altura. La aclimatación puede acelerarse activamente con el aumento paulatino de las diferentes cargas físicas de entrenamiento, al igual que cuanto sea mayor la preparación general previa. Como guía general se logra de 14 a 15 días de estancia a alturas de hasta 2300m; posterior a ello por cada 610m adicionales se requiere una semana más, para una adaptación completa hasta una altura de 4572 msnm. La aclimatación se pierde de 2 a 3 semanas posteriores al descenso, con una disminución inicial del rendimiento durante los primeros días^{5, 6, 7}.

Frecuencia Ventilatoria (FV)

Se considera que el aumento de la respiración es la más clara e inmediata respuesta a la altitud por la reducción de la presión arterial de oxígeno, manteniéndose elevada durante un año o más; mientras se mantenga a dicha exposición hipobárica. La PaO_2 disminuida activa los quimiorreceptores ubicados en la bifurcación carotídea y en el arco aórtico, lo que modifica la actividad inspiratoria, incrementando la ventilación alveolar. Durante la hiperventilación el CO_2 es expulsado, lo que incrementa la pO_2 y el pH de la sangre sistémica al actuar el efecto Haldane⁷.

Esta hiperventilación (es mayor en niveles submáximos en comparación con el nivel del mar) que por un lado tiende a corregir la hipoxemia, por otro produce una disminución de la presión parcial de CO_2 arterial, es decir, una alcalosis respiratoria. Esta alcalosis respiratoria produce efectos que se contraponen con una adecuada aclimatación: disminuye la capacidad de respuesta del centro respiratorio a la hipoxemia y desplaza a la izquierda la curva de disociación de la hemoglobina, dificultando el aporte de O_2 a los tejidos. Para contrarrestarla se produce una mayor excreción renal de bicarbonato, generando una compensación metabólica y así, se restaura el equilibrio ácido-base. Pero esto puede generar un problema, ya que la pérdida de reserva alcalina total disminuye la capacidad sanguínea de tamponar ácidos. Siendo este uno de los factores que puede modificar la respuesta láctica al ejercicio en altitud. Por ejemplo, al exponerse a alturas de 3,048m la PCO_2 cae aproximadamente a 24 mmHg y durante una presencia prolongada a mayores alturas alcanza los 10 mmHg⁸.

Así, el aumento de la ventilación lleva asociado un aumento del equivalente ventilatorio (VE/VO_2), lo que en cierta medida es ineficiente desde el punto de vista metabólico, pero permite mantener niveles adecuados de VO_2 .

El VO_2 requerido a una intensidad de ejercicio determinada es similar en la altura como en el nivel del mar, pero en hipoxia aguda, los valores submáximos de ventilación, FC, GC y acumulación de lactato son mayores. En cambio, si comparamos estas mismas variables al mismo % del $VO_{2\text{máx}}$ (VO_2 relativo) en una altitud determinada, los valores serán similares que a nivel mar. (5) Después de permanecer una semana en altitud, la capacidad buffer disminuye, debido a la excreción urinaria de bicarbonato.

Una vez alcanzada la aclimatación se compensa de esta forma el pH sanguíneo y el flujo sanguíneo cerebral retornan a valores casi normales; mejorando la capacidad de transporte y utilización de oxígeno, acrecentando la capacidad aerobia⁶.

Frecuencia Cardíaca (FC)

Debido a la facilidad de esta determinación, la frecuencia cardíaca se emplea a menudo como índice de la función circulatoria tanto en condiciones de reposo como de ejercicio.

Con la exposición aguda a la hipoxia hipobárica se producen algunos cambios cardiovasculares. La frecuencia cardíaca y el gasto cardíaco aumentan tanto en reposo como en ejercicio submáximo (50% por arriba de los niveles a nivel de mar), y disminuyen en ejercicio máximo. En cambio, el volumen sistólico habitualmente disminuye o se mantiene igual a todas las intensidades de ejercicio a consecuencia de la disminución del volumen plasmático, esto afecta la capacidad de realizar ejercicios prolongados de alta intensidad durante la exposición aguda a la altitud. Por otro lado, a nivel de la vasculatura pulmonar se produce un aumento de las presiones.

El volumen plasmático disminuye debido, principalmente, a una redistribución hídrica hacia el espacio intracelular, y en algún grado a la deshidratación debida a la hiperventilación en un ambiente con escasa humedad ambiental. Pudiendo contribuir otro tipo de factores como la ingesta, sudoración etc., este puede disminuir hasta un 20% durante los primeros días de estadía en altitud.

Este aumento de la FC podría estar mediado por un aumento de la actividad simpática, de las catecolaminas circulantes^{6, 8}.

Presión Arterial (PA)

La respuesta tensional al esfuerzo dependerá también de las resistencias periféricas: la PA sistólica aumentará en respuesta al incremento en Gasto cardíaco (GC), mientras que los valores de PA diastólica permanecerán sin modificar o descenderán ligeramente en respuesta a la disminución de las resistencias sistémicas.

Saturación parcial de oxígeno (SpO_2)

La oximetría de pulso mide la saturación de oxígeno en la sangre, pero no mide la presión de oxígeno (PaO_2), la presión de dióxido de carbono ($PaCO_2$) o el pH. Por tanto, no sustituye a la gasometría en la valoración completa de los enfermos respiratorios. Sin embargo, supera a la gasometría en rapidez y en la monitorización de estos enfermos. Los aparatos disponibles en la actualidad son muy fiables para valores entre el 80 y 100%, pero su fiabilidad disminuye por debajo de estas cifras.

Se ha sugerido la oximetría de pulso como la quinta constante vital, junto con la presión arterial, la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria y la temperatura.

La oximetría de pulso proporciona las siguientes ventajas:

- Proporciona una monitorización instantánea, continua y no invasiva.
- No requiere de un entrenamiento especial. Es fácil de usar.
- Es fiable en el rango de 80-100% de saturación que es el más interesante en la práctica clínica.
- Además informa sobre la frecuencia cardíaca y puede alertar sobre disminuciones en la perfusión de los tejidos.
- Es una técnica barata y existen aparatos portátiles muy

manejables.

• La gasometría es una técnica cruenta, que produce dolor y nerviosismo durante a extracción, dando lugar a hiperventilación, lo que puede llevar a sobreestimación de la oxigenación⁹.

Adaptación a nivel periférico

Los cambios adaptativos que se producen a nivel periférico han generado gran controversia. Inicialmente se había planteado que la adaptación a la altitud producía una serie de cambios a nivel muscular que semejaban a aquellos producidos por el entrenamiento. Se había observado aumento de la densidad capilar, de la mioglobina, enzimas oxidativas y de las mitocondrias. Esto se fundamentaba en estudios realizados en nativos de altura y animales, y no en deportistas que entrenan en altitud. Estudios más recientes han demostrado que el aumento de los capilares ocurría por disminución del diámetro de las fibras musculares (atrofia de la altura) y no por aumento de los capilares. El aumento de mitocondrias, enzimas oxidativas y mioglobina se asociarían al entrenamiento y no a la aclimatización a la altitud, ya que en individuos que suben a altitud y no entrenan, se ven cambios en sentido contrario a los del entrenamiento.

Cambios en el metabolismo

Al llegar a la altura se produce un aumento del metabolismo basal, lo que tiende a normalizarse con estadías más prolongadas. Con la aclimatización se produce un progresivo aumento en la contribución relativa de la oxidación de las grasas para satisfacer los requerimientos energéticos en reposo (esto es más marcado en ejercicio, como veremos más adelante). El aumento de la norepinefrina desde las primeras horas de la estadía en altitud estimula la lipólisis a nivel del tejido adiposo, liberando ácidos grasos libres (AGL) y glicerol en la sangre. Esta mayor disponibilidad de AGL y su utilización como sustrato energético a nivel de los músculos tiene como resultado un ahorro del glicógeno muscular. Probablemente estos cambios en la actividad simpática juegan algún rol en las adaptaciones cardiovasculares de la aclimatización. Se pierden considerables cantidades de agua, principalmente en forma de vapor, por la exhalación, provocando una gran disminución del peso corporal y hemoconcentración^{10, 11}.

Tabla 2. Cambios a hipoxia hipobárica^{4, 10, 11}:

Sistema	Inmediato	Largo plazo
Pulmonar	Taquipnea	Taquipnea
Ácido-base	Alcalosis por reducción del CO2 de la hiperventilación	Excreción urinaria de base y una concomitante reducción de las reservas alcalinas
Cardiovascular	<ul style="list-style-type: none"> • Incremento de la frecuencia cardiaca submáxima. • Incremento del gasto cardiaco submáximo • El volumen sistólico sigue siendo el mismo o ligeramente disminuido. • La frecuencia cardiaca máxima sigue siendo la misma o ligeramente disminuida. • El gasto cardiaco máximo sigue siendo el mismo o ligeramente disminuido. 	<ul style="list-style-type: none"> • La frecuencia cardiaca submáxima sigue siendo elevada. • El gasto cardiaco submáximo cae por debajo de los niveles a nivel del mar. • Disminuye el volumen sistólico. • Frecuencia cardiaca máxima disminuida. • Gasto cardiaco máximo disminuido.
Hematológicos	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> • Decremento en volumen plasmático. • Incremento del hematocrito. • Incremento de la concentración de Hemoglobina. • Incremento de células rojas totales.
Tisulares	Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> • Posible incremento en la capilarización de músculo. esquelético • Incremento de 2-3 DPG de la hemoglobina. • Incremento de mitocondrias. • Incremento de enzimas aeróbicas.

Clasificación de altitud

Terrados (1994), señala una clasificación de la altitud dependiendo de criterios biológicos donde se habla de baja altitud cuando el sujeto se encuentra a una altura de hasta 1000 m. sobre el nivel del mar (msnm) .En ella las persona sanas no van a sufrir ningún tipo de modificación tanto en reposo como en ejercicio.

Media altitud cuando los valores oscilan entre 1000 y 2000 msnm. Teniendo lugar determinados efectos físicos que afectan al rendimiento deportivo.

Alta altitud (grande) cuando el sujeto en cumbres situadas entre 2000 y 5500msnm. En estos niveles se producen diversas modificaciones fisiológicas en reposo, siendo estos más acentuados durante el esfuerzo físico¹².

Si se parte de un nivel de residencia de 2680 msnm, el organismo ya cuenta con adaptaciones necesarias para un adecuado aporte de oxígeno que se vería en competencias a esta misma altura comparado con atletas que vengan de alturas inferiores. Por lo que el objetivo de esta investigación fue determinar el comportamiento de la aclimatación de marchistas universitarios en un campamento a 4000msnm, durante 24 días en la Paz, Bolivia, partiendo de una altitud de 2680msnm que es la altura de la ciudad de Toluca, Estado de México.

Método

Se realizó un estudio cuasi-experimental en 4 marchistas representativos de la Universidad Autónoma del Estado de México

(UAEM); en el periodo competitivo de 2008, con residencia en la ciudad de Toluca. Fueron incluidos en el estudio los atletas del equipo de marcha de la UAEM que tuvieran entre 18 y 24 años de edad, con un periodo mínimo de 1 año de preparación, con antecedente de exposiciones previas a altitudes de 4000msnm y que asistieron al campamento de altura realizado en la Paz, Bolivia en diciembre de 2007, de donde se obtuvieron los datos. Los registros fueron hechos en la Paz, Bolivia, a la llegada y el segundo registro el mismo día 4 de diciembre posterior al descanso en condiciones basales; los subsecuentes en condiciones basales en posición supina o en decúbito lateral. Un día de estancia consistía para el atleta en levantarse para tomar un desayuno ligero a las 6 hrs, salida a la primera sesión a las 7 hrs regreso a las 10-13 hrs dependiendo la carga del trabajo y el lugar del mismo que variaba desde 1 hora hasta 3 de camino. Posteriormente se realizaba otra ingesta alimenticia entre 13-14 hrs para realizar la segunda carga de entrenamiento a las 16 hrs, generalmente era trabajo técnico, de baja intensidad o de recuperación, el cual se realizaba cerca de las instalaciones del hotel, el regreso variaba entre 17-18 hrs para realizar la cena como a las 20 hrs y la hora de descanso a criterio del atleta a partir de ese momento. Se realizó estadística descriptiva e inferencial con t pre y pos prueba. Los datos basales fueron obtenidos en registro previo en la ciudad de México.

Resultados y discusión

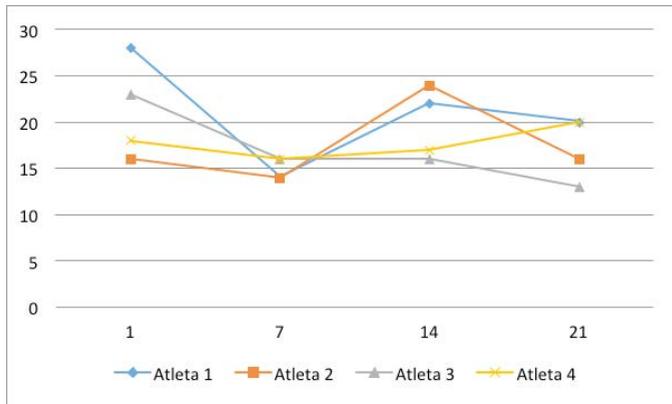
Se estudiaron 4 atletas, 3 del sexo masculino (75%) y 1 del sexo femenino (25%) con edades comprendidas entre 20-24 años de edad con promedio 21.5 ± 2.5 . Se muestran los resultados de las cifras de tensión arterial (TA), frecuencia cardiaca (FC), frecuencia respiratoria (FR) al primer día de la llegada, a los 7, 14 y 21 días, así como los valores de la oximetría de pulso (SaO₂) (tabla 3).

Tabla 3. Cifras de signos vitales y peso en los 4 atletas por semana

Signo	Día/atleta	1 (femenina)	2 (masculino)	3 (masculino)	4 (masculino)
TA en mmHg	1	110/50	110/72	130/90	120/76
	7	110/78	90/60	110/80	110/80
	14	90/62	102/70	104/72	110/80
	21	98/78	108/80	110/80	118/78
FC en lpm	1	85	77	42	86
	7	57	86	70	57
	14	42	52	60	59
	21	53	51	40	47
FR en rpm	1	28	16	23	18
	7	14	14	16	16
	14	22	24	16	17
	21	20	16	13	20
SpO ₂ en %	1	82	84	88	90
	7	92	90	92	90
	14	89	90	90	86
	21	93	90	90	83
Peso en kg	3	53.5	53	51.5	50
	7	65	65	65	61
	14	65	63	64	64
	21	69	66.5	65.5	62

Fuente: directa.

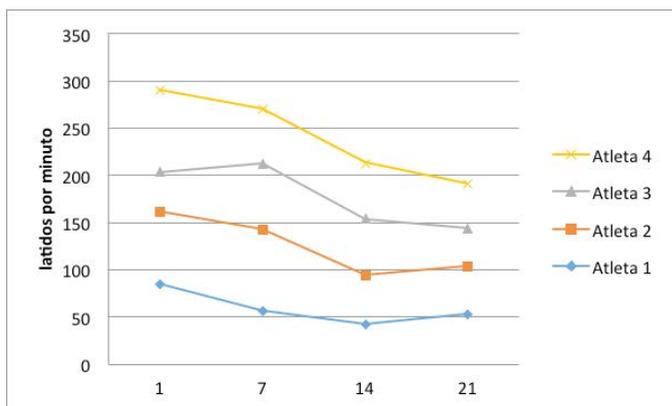
Se muestran las gráficas grupales del comportamiento de la frecuencia ventilatoria, frecuencia cardiaca, presión arterial y saturación de oxígeno (SpO2) para determinar el comportamiento durante la aclimatación.



Gráfica 1. Frecuencia Respiratoria de Marchistas Universitarios a 4000msnm.

Fuente: concentrado de datos del autor.

La frecuencia respiratoria se mantuvo en rangos de 11 hasta 28 respiraciones por minuto, llama la atención que empiezan los valores a recuperarse en las primeras 48 hrs, en el entendido que los 4 atletas realizaron entrenamiento desde el primer día de su llegada al campamento. Para el día 4 de estancia los valores estaban por debajo de la media, y a partir de ahí se mantuvieron con variaciones de $\pm 10\%$. Del día 14 al 16 de estancia se presenta una elevación por arriba de 16 respiraciones por minuto para volver a descender alcanzando los rangos menores a esta. Lo anterior debido a que ante una exposición hipóxica hipobárica con la consecuente disminución de la presión de oxígeno debido a la ley de Dalton (leyes generales de los gases) llega menor cantidad de oxígeno a los tejidos, lo que activa quimiorreceptores que a su vez dan aumento de la frecuencia respiratoria. Por qué el fenómeno se presenta después de una aparente adaptación en la primera semana, quizá sea por la altura en msnm sea necesario dar mayor reposo al organismo para no disminuir sus propias reservas energéticas, como se pudo demostrar en otra gráfica que el peso comenzó a disminuir después de la primera semana.

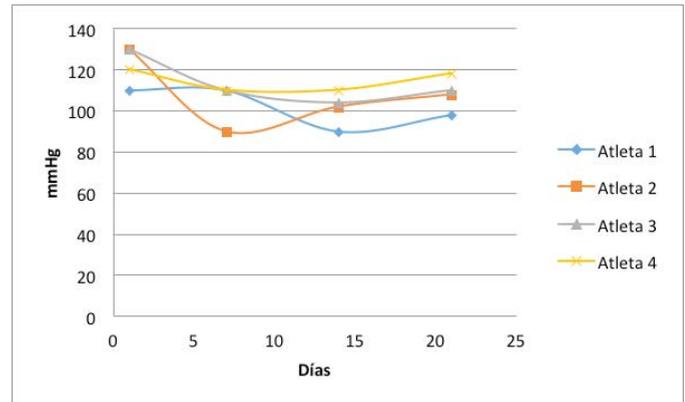


Gráfica 2. Frecuencia Cardiaca de Marchistas Universitarios a 4000msnm.

Fuente: concentrado de datos del autor.

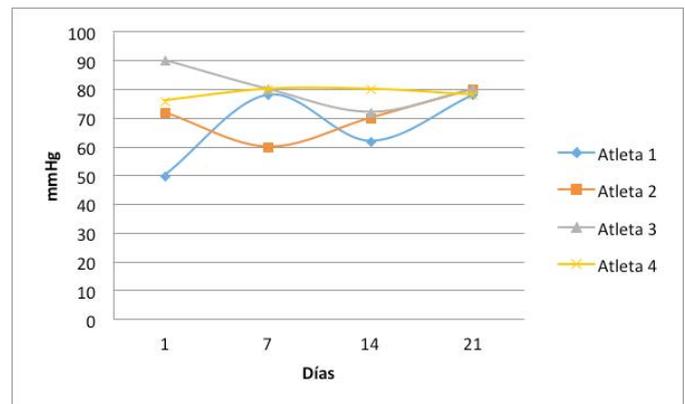
Se registraron frecuencias cardíacas en un rango de 39 hasta 70 latidos por minuto, con una media de 57 latidos por minuto, iniciando con rangos dentro de parámetros normales en tres de los cuatro atletas hasta el día 6 de estancia, posteriormente fueron evidentes los valores bradicárdicos; para el otro atleta desde el inicio comenzó con valores bradicárdicos y a partir del día de 5 al 7 mostró una elevación llegando a 70 latidos por minuto para regresar a cifras de bradicardia el día 8 de estancia junto con el resto de los atletas.

En la siguiente gráfica, se muestra el comportamiento de la TA de los 4 atletas durante su estancia:



Gráfica 3. Presión Arterial Sistólica en Marchistas Universitarios a 4000msnm.

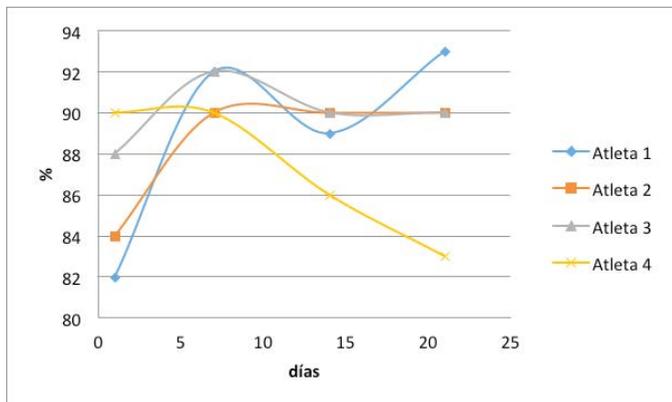
Fuente: concentrado de datos del autor.



Gráfica 4. Presión Arterial Diastólica en Marchistas Universitarios a 4000msnm.

Fuente: concentrado de datos del autor.

La presión arterial sistólica mostró valores de 90 a 130mmHg encontrándose dentro de parámetros normales, con una media de 106 mmHg. Para el día 4 de estancia hasta el día decimo se registraron presiones arteriales sistólicas más bajas que el resto de registros, sin un patrón característico. Mientras la presión arterial diastólica tuvo una media de 71mmHg, los rangos variaron desde 50 hasta 88 mmHg, dichas cifras se registraron en dos atletas diferentes, a la llegada a la altitud de la Paz, Bolivia. Con variaciones a partir de ahí hasta el día 10 de estancia sin una característica específica y a partir del día 11 mostró una elevación del 10 al 20% para tender a permanecer en cifras constantes.



Gráfica 5. Saturación de Oxígeno en Marchistas Universitarios a 4000msnm

Fuente: concentrado de datos del autor.

La saturación de oxígeno mostró un evidente descenso a la llegada de 96-95% como valores habituales en los atletas aún en la ciudad de Toluca a 2680 msnm a valores de 82-90%, pero para el tercer día de estancia la saturación en todos se encontraba entre 91 a 92%, de ahí en adelante las cifras se mantuvieron normales.

Conclusiones

El tiempo global de adaptación en los 4 atletas fue de 1 semana menor a lo reportado en la literatura, sin embargo, en este estudio la frecuencia respiratoria fue el primer indicador en presentar adaptación entre 48 y 72 hrs, seguido de la saturación de oxígeno (6 días), la frecuencia cardíaca (8 días) y por último la presión arterial con 10 días. De acuerdo con la fisiopatología de los eventos de mal de montaña y edema de grandes alturas que se presentan posteriores a las 48 hrs de estar en la gran altitud, por encima de los 3000 msnm. Los eventos fisiológicos de adaptación en sanos y en atletas deben ser muy parecidos. En este caso los atletas ya tenían antecedente de haber estado en alturas similares por lo que pudieron continuar con su entrenamiento.

Este parámetro de ajuste respiratorio a las 48 hrs es lo que debe tomarse en serio para los deportistas que acuden a eventos de competencia en lugares por encima de los 2,500 msnm, en donde la decisión será jugar en las primeras 24 hrs o bien hasta las 72 hrs, considerando el periodo crítico de cambios en el sujeto las 48 hrs.

Bibliografía

1. McArdle W, Katch F, Katch V. Fundamentos de fisiología del ejercicio. 2ª ed., España: McGraw-Hill Internacional; 2004.
2. Astrand O y Rodahl K. Fisiología del Trabajo Físico. Bases Fisiológicas del Ejercicio. 3ª ed., Buenos Aires: Médica Panamericana; 1992.
3. Vargas M, Osorio J, Jiménez D, et al. Mal Agudo de Montaña a 3500 y 4250 m. Un estudio de la incidencia y severidad de la sintomatología. Rev Med Chile Supl Santiago. Feb 2001; 129(2):166-172.
4. Wilmore J y Costill D. Fisiología del esfuerzo y del deporte. 5ª ed., España: Paidotribo, 2005.
5. Bowers R y Fox E. Fisiología del Deporte. 3ª ed., México: Médica Panamericana, 1998.
6. McArdle W, Katch F, Katch V. Exercise Physiology. Energy, Nutrition and Human Performance. Philadelphia: LEA & FEBIGER. 1990; 322-330.
7. Instituto Nacional de Deportes, Educación Física y Recreación. Bioquímica de los ejercicios físicos. La Habana, Cuba: Pueblo y Educación, 1981.
8. Mendoza, A. Funcionamiento e Importancia del Sistema Bicarbonato/CO2 en la regulación del pH sanguíneo. Ciencia Ergo Sum. 2008; 15(002): 55-160.
9. Department of Emergency Medicine, University of Cincinnati. Pulse oximetry: principles and limitations. The American Journal of Emergency Medicine. 1999; 17(1):59-67.
10. Rodríguez V. Respuesta cardíaca en reposo y durante el esfuerzo submáximo, en el proceso de aclimatación a la altura, implicaciones para el entrenamiento. Revista Internacional de Medicina y Ciencias de la Actividad Física y el Deporte. 2002; 2:235-243.
11. López-Chicharro J y Fernández A. Fisiología del Ejercicio. 2ª ed., Madrid: Panamericana, 1998.
12. Terrados N, Gutiérrez A. Fisiología de la actividad física y el deporte. Barcelona: Interamericana. El entrenamiento en altitud. INFOCOES, 1994.