



CAMBIOS HEMATOLOGICOS EN ATLETAS QUE ENTRENAN EN ALTA ALTITUD Y RESIDEN EN ALTITUD MODERADA

Hematological changes in athletes training in high altitude who live at moderate altitude

Meyer Acosta,¹ Jorge Luis Pérez,² Víctor Manuel Melgarejo,³ Elkin Losada-Celis.⁴

1. Licenciado en educación Física, Recreación y Deporte. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC
2. Doctor en Ciencias de la Actividad Física y del Deporte, Universidad de las Palmas de Gran Canarias, España. Doctor en Ciencias de la Cultura Física, Instituto Superior de Cultura Física, CMDTE. Manuel Fajardo, La Habana, Cuba
3. Mg. Pedagogía de la Cultura Física. UPTC. Licenciado en educación Física. Profesional Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. UPTC
4. Psicólogo Jurídico y Forense, Docente Programa de Psicología UNIMINUTO, catedrático Universidad Cooperativa de Colombia sede Villavicencio. Colombia

Recibido: 30/09/2016 Revisado: 10/12/2016 Aceptado: 20/03/2017

COMO CITAR ESTE ARTICULO: Acosta M, Perez JL, Melgarejo VM, Losada-Celis E. Cambios hematológicos postentrenamiento en alta altitud en atletas que residen en altitud moderada rev.salud.hist.sanid.on-line 2017;12(2):17-27 (may-ago). Disponible en <http://www.shs.agenf.org/> Fecha de consulta ().

Los textos publicados en esta revista pueden ser reproducidos citando las fuentes. Todos los contenidos de los artículos publicados, son responsabilidad de sus autores.

RESUMEN

El entrenamiento deportivo en pruebas de resistencia, ha sido tema de discusión y controversia por los métodos empleados en altitud. Varios estudios han demostrado las adaptaciones hematológicas, incremento de la hemoglobina (Hb) y del hematocrito (Hcto) en función de una dosis de hipoxia adecuada. Objetivo Identificar los cambios en la Hb y el Hcto en atletas que entrenan arriba y viven abajo, luego de un mesociclo de 30 días, en condiciones reales y no controladas. Metodología: Estudio cuantitativo de tipo pre experimental y longitudinal, en una muestra de cinco atletas femeninas juveniles, quienes firmaron el consentimiento informado; se evaluaron pre y post programa de entrenamiento. Realizaron un mesociclo de entrenamiento, viviendo en altitud moderada y entrenando en alta altitud, en el periodo Preparación General. Resultados pre mesociclo de entrenamiento el Hcto fue de $44.4 \pm 2.4\%$ y la Hb $14.7 \pm 0.8\text{g/dL}$ y post mesociclo fue Hcto $48.0 \pm 2.1\%$ y Hb $16.1 \pm 0.7\text{g/dL}$ encontrándose diferencias estadísticamente significativas. Conclusiones Un mesociclo de 30 días de entrenamiento en alta altitud incrementa el Hcto y la Hb en atletas que residen en altitud moderada, mejorando su rendimiento deportivo sin presentar riesgo para su salud; adicionalmente hubo mejora en las marcas personales.

Palabras clave: altitud moderada, alta altitud, atleta, entrenamiento, hematocrito, hemoglobina.

ABSTRACT

Sports training in resistance tests has been the subject of discussion and controversy due to the methods used at high altitude. Several studies have shown hematological adaptations, increased hemoglobin (Hb) and hematocrit (Hct) depending on an appropriate dose of hypoxia. Objective To identify changes in Hb and Hct in athletes who train in high altitude and live at moderate altitude, after a 30-day mesocycle, under real and uncontrolled conditions. Methodology: Quantitative study, pre-experimental and longitudinal type, with a sample of five youth female athletes, who signed the informed consent, evaluated pre and post training program. They performed a training mesocycle, living at a moderate altitude and training at a high altitude, during the general preparation period. Results pre-training mesocycle Hcto was $44.4 \pm 2.4\%$ and Hb $14.7 \pm 0.8\text{g / dL}$ and post mesociclo was Hcto $48.0 \pm 2.1\%$ and Hb $16.1 \pm 0.7\text{g / dL}$ finding statistically significant differences. Conclusions A 30-day mesocycle of high-altitude training increases Hct and Hb in athletes who live at moderate altitude, improving their performance without risk to their health; additionally there was improvement in their personal records.

Keywords: altitude, athlete, training, hematocrit, hemoglobin.

INTRODUCCIÓN

Para conocer de los cambios hematológicos en la sangre de un organismo sometido a la hipoxia, es preciso retomar algunos conceptos fisiológicos sobre los sistemas respiratorio y cardiovascular que se combinan para facilitar un eficaz sistema de suministro que lleva oxígeno a los tejidos del cuerpo y elimina el dióxido de carbono; comprende cuatro procesos separados: - la ventilación pulmonar (respiración), que es el movimiento de los gases hacia dentro y hacia afuera de los pulmones. - La difusión pulmonar, que es el intercambio de gases entre los pulmones y la sangre. - El transporte de oxígeno y dióxido de carbono por la sangre, y - el intercambio capilar de gases, que es el intercambio de gases entre la sangre capilar y los tejidos metabólicamente activos. El intercambio de gases entre el aire en los alveolos y la sangre en los capilares pulmonares tiene lugar a través de la membrana respiratoria (Wilmore & Costill, 2010).

La célula sanguínea, el eritrocito, cumple la función de transportar la hemoglobina, que a su vez lleva oxígeno y bióxido de carbono desde los pulmones hacia los tejidos. El número promedio de eritrocitos por milímetro cúbico de sangre es de cerca de 5.400.000 (\pm 600.000) en el hombre y de 4.600.000 (\pm 500.000) en la mujer. También modifica el aumento de eritrocitos la altitud en la cual se vive y el ejercicio que se haga; a grandes alturas, donde la cantidad de captación de oxígeno está muy disminuida, se transporta a los tejidos cantidades insuficientes de oxígeno, y los eritrocitos se producen tan rápidamente que su número aumenta mucho en la sangre. Por tanto es evidente que no es la concentración de eritrocitos en la sangre la que controla la intensidad de producción de hematíes, sino que es la capacidad funcional de las células para trasportar oxígeno a los tejidos (Guyton, 1987).

El hecho de que el ejercicio pueda aumentar la intensidad de producción de eritrocitos indica que la hipoxia de los tejidos es la que origina la producción de hematíes (López, 2010; Patiño, 2005; Mackenzie, 2000). A este respecto, para Brahimi-Horn & Pouysségur (2007) en los mamíferos, el aumento de la altitud da como resultado inicial un incremento de la velocidad y profundidad de la respiración, “seguida por una respuesta adaptativa molecular que implica el factor de transcripción inducible por hipoxia (HIF). Este factor modifica la expresión de una gran cantidad de genes incluido el código para la eritropoyetina (Epo)”, este término es muy familiar en el deporte. Los posibles mecanismos subyacentes siguen siendo una cuestión de discusión, pero los beneficios se han atribuido a un aumento glóbulos rojos, mejorando la capacidad de transporte de oxígeno, el consumo máximo de oxígeno (VO₂max) y capacidad de amortiguación, teniendo en cuenta que se debe aplicar una dosis adecuada de hipoxia (Levine y Stray-Gundersen, 1997 p 3582). Según Bartsch & Saltin (2008) estos “cambios se vuelven prominentes desde 2000 msnm. en estas altitudes mayores ocurren adaptaciones adicionales, una es una reducción en la respuesta máxima del ritmo cardíaco y consecuentemente una menor gasto cardíaco máximo. Por lo tanto, a pesar de una normalización del contenido de oxígeno arterial

después de 4 o más semanas en altitud, el pico de consumo de oxígeno alcanzado después de un largo período de aclimatación no se altera esencialmente en comparación con la exposición aguda. Lo que se gana es una oxigenación más completa de la sangre en los pulmones, es decir, la SaO₂ aumenta". (p 1) Varios estudios han determinado los valores del hematocrito y de la hemoglobina y otros indicadores hematológicos antes y después del entrenamiento en altitud y algunos han informado de un aumento, con una amplia variabilidad entre individuos, mientras que otras investigaciones no obtuvieron cambios.

La dosis de hipoxia es un factor clave de las adaptaciones eritropoyéticas, la de la altitud a la que se reside y la selección de la altitud a la que se entrena, la duración de la estancia o las sesiones de entrenamiento son factores importantes. Wilber, R., en *Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes* (2007) refiere que "muchos atletas contemporáneos de resistencia de élite en deportes de verano e invierno incorporan algún tipo de entrenamiento de altitud e hipoxia dentro de su plan de entrenamiento durante todo el año, creyendo que proporcionará la "ventaja competitiva" para tener éxito en el nivel olímpico" (p 1610).

Al respecto se describe la eficacia de tres modelos y dispositivos contemporáneos de entrenamiento de altura e hipoxia, utilizados en 39 corredores de distancia universitarios estadounidenses masculinos y femeninos, estudio realizado por Levine y Stray-Gundersen (1999) y asignaron los grupos aleatoriamente así: (1) vivir alto+entrenar alto (LH+TH); 2) vivir alto+entrenar abajo (LH+TL), y 3) vivir bajo+tren alto (LL+ TH). El modelo LH+TL fue analizado en detalle e incluye modificaciones como: altitud natural y terrestre, altitud simulada mediante dilución de nitrógeno o filtración de oxígeno y normoxia hipobárica mediante oxígeno suplementario.

Los resultados sugieren que vivir a una altura moderada (2500 m) arrojan aumentos significativos en el volumen de eritrocitos y la concentración de hemoglobina en los corredores LH+TH y LH+TL; que el entrenamiento simultáneo a 1250 m permitió a los atletas LH+TL alcanzar velocidades de carrera y flujo de oxígeno similar al nivel del mar, supuestamente induciendo adaptaciones metabólicas y neuromusculares beneficiosas a nivel del mar; el grupo LH+TL fue el único que demostró mejoras significativas tanto en VO₂max como en el tiempo de ejecución de 5000 m. Estos resultados se atribuyeron a las adaptaciones hematológicas positivas ("live high"), así como a las adaptaciones metabólicas y neuromusculares ("entrenar abajo") que resultan exclusivamente de 4 semanas de entrenamiento en altitud (LH + TL).

Vivir abajo - entrenar arriba (ll+th)

El modelo de entrenamiento en altitud vivir Abajo+entrenar arriba (LL+TH) es aquel en el que los atletas viven en un entorno natural a nivel del mar y entrenan en altitudes superiores a los 1.800 y hasta los 2500 msnm. Se ha demostrado que la aclimatación a alta altitud moderada, acompañada de entrenamiento a baja altura (bajo nivel de vida en

entrenamiento alto), mejora el rendimiento de resistencia del nivel del mar. Stray-Gundersen, et al. (1985) en investigación con deportistas de élite (hombres y mujeres) concluyeron que 4 semanas de aclimatación a altitud moderada (2500), acompañadas de entrenamiento de alta intensidad a baja altura (1250), mejora el rendimiento de resistencia al nivel del mar incluso en corredores de élite y que el mecanismo como la magnitud del efecto parecen similares a los observados en corredores menos hábiles. (p 1113).

Otros ambientes simulados de hipoxia

Las cámaras hipobáricas cuyo objetivo es reducir la presión atmosférica y la PO₂. Estos estímulos se realizan en estado de reposo o en exposición intermitente con cambios en el entrenamiento de baja intensidad. Mezcla de gases hipóxicos, Otra modificación del entrenamiento de altitud normobárica se puede simular a través de la dilución de nitrógeno (por ejemplo, hipoxicador Altitrainer 200), la filtración de oxígeno (por ejemplo, el hipoxicador GO2Altitude) o la inspiración de gas hipóxico. LL + TH puede ser usado por atletas en estado de reposo (exposición hipóxica intermitente, IHE) o durante sesiones de entrenamiento formales (entrenamiento hipóxico intermitente, IHT).

Se supone que IHE / IHT puede mejorar el rendimiento atlético al estimular un aumento en la eritropoyetina sérica (sEPO) y el volumen de eritrocitos y puede aumentar la densidad mitocondrial del músculo esquelético, la relación capilar a fibra y la fibra cruzada -Área seccional a través de la regulación positiva del factor 1 α (HIF-1 α) inducible por la hipoxia. Debido a su conveniencia, LL+TH a través de IHE/IHT es utilizado por atletas de élite en varios países (Millet, et al., 2010). El objetivo de este estudio fue investigar los efectos del entrenamiento de 30 días en alta altitud, sobre la hemoglobina y el hematocrito en atletas femeninas juveniles que residen en altitud moderada. El estudio se realizó en condiciones naturales utilizando el método de Vivir Bajo (2525 msnm) Entrenar Arriba (3345 msnm)

METODOLOGÍA

Enfoque cuantitativo de tipo pre experimental longitudinal. La muestra corresponde a cinco atletas femeninas juveniles pertenecientes al equipo Sao Olímpica de Boyacá, quienes cumplieron los criterios de inclusión: 1. Ser atleta. 2. Ser nativa y domiciliada en los últimos 6 meses en la ciudad Paipa, área urbana (altitud moderada, Bartsch & Saltin, 2008). 3. Rango de edad: entre los 14 y 18 años de edad, sexo femenino. 4. Certificado médico de buen estado de salud. Y 5. Manifestar disposición para entrenar 30 días en alta altitud (Reserva Ranchería). Firmaron el consentimiento informado junto con los padres o acudientes para aprobar los procedimientos del estudio. Se tomaron pruebas hematológicas para determinar los valores de hemoglobina y hematocrito antes y después del mesociclo de 30 días de entrenamiento en alta altitud, en laboratorio clínico habilitado por la Secretaría de salud departamental; un día antes de iniciar y un día después de terminado el mesociclo. El Procedimiento para la tomar del cuadro hemático fue manual,

la muestra de sangre anticoagulada y capilar. Los anticoagulantes que se utilizaron fueron: EDTA, Heparina, Citratos o anticoagulantes de Wintrobe. El Hematocrito (Hcto) se da en porcentaje (%) y los materiales que se utilizaron para hallarlo fueron: Tubos de microhematocrito sin anticoagulante, microcentrifugadora Se llenó por capilaridad las 2/3 partes del tubo capilar, se selló en forma perpendicular en uno de sus extremos, se puso en la microcentrifugadora con la terminación sellada hacia el empaque. Se cierra la centrifugadora, y se centrifuga durante 5 minutos a 10.000–20.000 rpm. Al para la centrifugadora se ubicó la terminación sellada en el inicio del paquete globular en el cero de la tabla, (disco graduado) y el menisco en la parte terminal del plasma en 100 y luego se dio lectura del porcentaje. La Hemoglobina (Hb) se da en gramos por decilitro (gr/dL) y los materiales que se utilizaron para hallarla fueron: Solución diluyente de Drabklin, pipeta de 2.5ml o dispensador de 2.5ml, pipeta automática de 0,01 ml, tubo de ensayo de 10 ml, Fotómetro 4010. El mesociclo de entrenamiento en alta altitud hace parte de la preparación general de las deportistas y consistió en cuatro semanas en las que las atletas vivían y dormían en Paipa (Boyacá, 2525 msnm) y realizaban entrenamientos en la reserva de Ranchería, ubicada en la zona veredal de la misma ciudad (3100 – 3345 msnm); se dividió en tres fases: de aclimatación (8 días), de adaptación (15 días) y de afinamiento (7 días). cada una de las sesiones de entrenamiento tuvo una duración de 3 horas, Para un total de 30 sesiones de entrenamiento. Para el análisis estadístico se utilizó la prueba de los rangos con signo de wilcoxon (dado el tamaño muestral) mediante el software SPSS V.15

RESULTADOS

En la tabla 1 se presentan los datos demográficos de la muestra correspondientes a edad $15,7\pm 1,2$ años, peso $47,8\pm 3,8$ k, talla $157,4\pm 4,4$ cm y el IMC. En M y DS., % muscular $48,4\pm 1,1$, % grasa $13,7\pm 2,2$, % óseo $16,8\pm 1,3$ y el % residual 20,9, y la tasa metabólica basal (TMB) $1343,7\pm 14,6$ calorías/día, según protocolo de Ross y Guimaraes)

Tabla 1 Datos demográficos de la muestra, edad, peso, talla e IMC, % muscular, % grasa, % óseo, % residual y TMB, en M y Ds.

DATOS (5 Atletas)	UNIDAD
Edad (a)	$15,7\pm 1,2$
Peso (k)	$47,8\pm 3,8$
Talla (cm)	$157,4\pm 4,4$
IMC	19,43
% muscular	$48,4\pm 1,1$
% grasa	$13,7\pm 2,2$
% óseo	$16,8\pm 1,3$
% residual	20,9
TMB calorías/día)	$1343,7\pm 14,6$

En la tabla 2 se presentan los datos del Hcto y la Hb, pre y post mesociclo de entrenamiento de 30 días. Los datos revelaron la variabilidad interindividual sobre la Hb y el Hcto, los valores pre test del Hcto fueron $44.4 \pm 2.4\%$ y de la Hb 14.7 ± 0.8 g/dL, y los valores post test correspondieron a Hcto $48.0 \pm 2.1\%$ y de la Hb 16.1 ± 0.7 g/dL.

Tabla 2. Hcto y la Hb pre y post mesociclo de entrenamiento.

Datos	Pre mesociclo	Post mesociclo
Hcto (%)	$44,4 \pm 2,4$	$48 \pm 2,1$
Hb (g/dL)	$14,7 \pm 0,8$	$16,1 \pm 0,7$

Realizado el análisis estadístico, el contraste de la prueba de los rangos con signo de Wilcoxon, para los valores post y pretest de Hcto corresponde a $p < 0,038$ y para los valores post y pretest de Hb corresponde a $p < 0,043$ Lo que permite inferir que hay diferencias entre los grupos y las mismas no se deben al azar, como se muestran en la tabla 3.

Tabla 3. Prueba de Wilconxon, análisis estadístico

ESTADÍSTICO DE CONTRASTE ^b		
	Hcto pretest - Hcto postest	Hb pretest - Hb postest
Z		
Sig.	$-2,770^a$	$-2,023^a$
Asintot (bilateral)	$,038$	$,043$

DISCUSIÓN

Las investigaciones con deportistas femeninas juveniles que utilicen métodos de entrenamiento en altitud son escasas, y aún más utilizando el método VB-EA (Vivir Bajo 2525 msnm - Entrenar Arriba 3345 msnm) utilizado en deportistas que residen en altitud moderada y pretenden obtener ganancias entrenando a mayor altitud.

Por otra parte, estos resultados están de acuerdo con las investigaciones previas de altitud moderada, tales como en el estudio descriptivo realizado por Orrego, M (2007) en un grupo de deportistas de sexo femenino, modalidad deportes de resistencia del departamento de Antioquia, Colombia, residentes en altitudes entre 2125 y 2500 msnm, se obtuvieron valores de Hb de $13,5 \pm 1.0$ gr/dL. y el Hcto de $41,1 \pm 2,7$ gr/dL. estos valores son inferiores a los hallados en las atletas objetos de esta investigación, quienes presentaron

valores de Hb de $14,7\pm 0,8$ gr/dL, y Hcto de $44,4\pm 2,4$ %. Se puede deducir que a mayor altitud de residencia, mayores son las concentraciones de Hb y de Hcto.

El estudio llevado a cabo por Wilber, R., et al (2007) quienes determinaron las dosis óptima de hipoxia para conseguir los beneficios del entrenamiento en altitud, recomiendan vivir a altitud natural de 2000-2500 msnm, durante mínimo 4 semanas, y una exposición de 22 horas por día, o vivir a una altitud simulada de 2500-3000 msnm y una exposición de 12 a 16 horas por día, a deportistas que residan a nivel del mar o en baja altitud; en esta investigación a las deportistas se les aplicó un método diferente de entrenamiento VB-EA, quienes vivían en una altitud natural de 2525 msnm y entrenaban a una altitud de 3345msnm, existiendo una diferencia de altitud de 820m, con relación a las 2500 en el estudio de Wilber. Se debe tener en cuenta que los estímulos de hipoxia no se pueden considerar iguales para atletas que vivan a nivel del mar y atletas que vivan en altitud moderada y entrenen en altitudes mayores. Para obtener un estímulo o beneficios debe existir una diferencia de exposición a altitudes entre el lugar de residencia y el lugar de entrenamiento; aunque no es proporcional, en los dos estudios se puede establecer que la diferencias de altitudes de este estudio, proporciono una dosis adecuada de hipoxia para lograr un aumento en los niveles hematológicos medidos.

La duración del mesociclo de entrenamiento coincide con las 4 semanas en las dos investigaciones. La exposición a la hipoxia es de 22 horas por día en el estudio de Wilber, mientras en este estudio fue de 3 horas por día, siendo esta diferencia muy considerable, sin embargo se obtuvo un aumento en los indicadores hematológicos como la Hb y el Hcto. Comparando los resultados presentados por Pottgiesser, T., et al. (2008) con una estancia de tres semanas (21 días) en la cual los deportistas vivían y entrenaban en altitud moderada (1800-2400 msnm) en el estudio no se encontraron diferencias significativas en la masa de hemoglobina (Hbmass), adicionalmente los valores de hematocrito, del volumen de plasma, del volumen sanguíneo y la concentración de hemoglobina (Hb) no revelaron ningún cambio significativo.

Mientras que en éste estudio que realizó una estancia de (30 días) en el cual las deportistas vivían a 2525 msnm y entrenaban a 3345msnm, si los hubo, porque se hallaron cambios significativos en la concentración de hemoglobina y hematocrito. Estos datos nos sirven para validar la teoría que establece que el aumento a nivel hematológico se da en estancias de entrenamiento sobre los 2500 msnm. Becali, A. (2012) con la selección cubana de Judo femenino, trasladó a deportistas residentes a nivel del mar a vivir y entrenar a una altitud de 2600 msnm.

Los valores iniciales de las atletas antes de realizar su entrenamiento en altitud fueron: Hb de $12,7\pm 0,65$ gr/dL y Hcto de $40\pm 0,04$ % y los valores después de 16 días de estancia en altitud moderada fueron; Hb de $13,7\pm 0,4$ gr/dL y Hcto de $44,2\pm 1,2$ %. En comparación con éste estudio en el cual los valores iniciales fueron de; Hb de $14,7\pm 0,8$ gr/dL y Hcto de $44,4\pm 2,4$ %. Y los valores después de 30 días de entrenamiento en alta altitud fueron de: Hb $16,1\pm 0,7$ gr/dL y Hcto de $48,0\pm 2,1$ %. Se puede establecer que en ambas investigaciones se

incrementaron los valores hematológico, aunque las diferencias de altitud teniendo en cuenta la residencia y lugar de entrenamiento no son proporcionales, debido a la diferencia de altitud ya que el estudio de Becali fue realizado con una altitud inicial o altitud de residencia de las deportistas a nivel del mar 0 msnm, y un altitud de entrenamiento de 2600 msnm con una permanecía de 16 días, y en el presente estudio la altitud de residencia de las deportistas fue de 2525 msnm, y la altitud de entrenamiento fue de 3345 con una permanencia de 30 días, por lo cual se lograron incrementos en Hb y Hcto en ambos estudios, aunque las altitudes y días de permanencia son distintos; así se demuestran los efectos de la exposición a la hipoxia y el método de entrenamiento VB-EA.

El estudio realizado por Carr, et al., (2015) en el cual los deportistas vivían arriba y entrenaban en baja altitud (1380 msnm) en hipoxia hipobárica (natural), y en las noches dormían 9 horas en una tienda en hipoxia normobárica, simulando una altitud moderada de 3000 msnm, con entrenamiento por 21 días consecutivos; la investigación presentó un aumento en la Hbmass y el VO₂max. Comparándolo con este estudio en el cual las deportistas vivían y dormían a una altitud moderada (2525 msnm) y entrenaban en una alta altitud (3345 msnm) permite determinar que la diferencia de altitud natural o simulada generan cambios a nivel hematológico como lo muestra el estudio de Amelia, pero se debe tener en cuenta que los métodos no naturales o simulados van a tender a ser calificados como métodos no acorde para la WADA.

CONCLUSIONES

Un mesociclo de 30 días de entrenamiento en alta altitud (3345 msnm) conduce a un aumento estadísticamente significativo de la Hb y el Hcto en sangre en condiciones ambientales reales, en atletas juveniles fondistas que residen en altitud moderada, por lo que se comprueba la hipótesis alterna “Un mesociclo de entrenamiento de 30 días en alta altitud, incrementa los niveles de la hemoglobina y del hematocrito en atletas que residen en altitud moderada”.

Este estudio demuestra que un entrenamiento en condiciones de hipoxia en alta altitud, estimula la adaptación del organismo en este ambiente hipóxico, porque se incrementa la producción de hemoglobina y eritrocitos, mejorando la transferencia de oxígeno que es un determinante del VO₂max en atletas que residan en altitud moderada, con lo cual se mejora el rendimiento deportivo.

RECOMENDACIONES

Realizar seguimiento al estado de salud de las deportistas debido a los cambios climatológicos que se puede presentar, para evitar enfermedades que puedan afectar el proceso de entrenamiento, ya que existe la posibilidad de climas lluviosos en algunos meses del año, esto pueden afectar las sesiones de entrenamiento. Realizar un control biológico del entrenamiento en alta altitud con otros parámetros como; glucemia, creatina y creatinina, aminoácidos relacionados con el entrenamiento, productos del metabolismo como el lactato, amoniaco, urea, CK. Y valoraciones directas de VO₂máx., que servirán para

detectar otros efectos que se puedan presentar al vivir a altitud moderada y entrenar en alta altitud.

Realizar investigaciones con otros métodos de entrenamiento en altitud como el método VA-EB (Vivir arriba- Entrenar Bajo) se permanezca la mayor parte del tiempo en alta altitud (viviendo, durmiendo) y se entrene en altitud moderada. Realizar estudios descriptivos para determinar los valores de hemoglobina y hematocrito en deportistas residentes en altitud moderada en Boyacá (la dosis de hipoxia) con el fin de tener parámetros de comparación con otras poblaciones de Colombia y otros países.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a las atletas y entrenador del Club Sao Olímpica de Boyacá, al Laboratorio Clínico de Paipa y al Centro Médico Deportivo de la UPTC por la asesoría y disponer de equipos para mediciones de antropometría.

REFERENCIAS

- Bartsch, P., & Saltin, B. (2008). General introduction to altitud adaptation and mountain sicknees. Scandinavian journal of medicine and science in sports, 18(S1):1-10
- Becali, A. E. (2012). Influencia del entrenamiento de altura en atletas cubanas de yudo. Acción, 4,10
- Brahimi-Horn, M.C., & Pouysségur, J. (2007) Oxygen, a source of life and stress, FEBS Lett, 581(19):3582-91
- Carr, A., Saunders, P., Vallance, B., Garvican-Lewis, A. & Gore, C. (2015). Increased Hypoxic dose after training at low altitude with 9h per night at 3000m normobaric hypoxia. Journal of Sport Science and medicine, 14(4):776-782
- Guyton, A. (1987). Tratado de Fisiología médica. Mexico: McGraw-Hill
- Levine, B. D., & Stray-Gundersen, J. (1997) "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. J. Appl. Physiol. 83:102-112.
- López, Ch. J. (2010). Fisiología del ejercicio. Edit Panamericana, Bogotá
- López, Ch, J. (2007). Efectos del entrenamiento en altitud . IX Jornada sobre medicina y deporte de alto nivel,. Barcelona, España, p 1-19
- Mackenzie, S. (2000). Hematología clínica. México DF: El Manual Moderno.
- Millet, G., Roels, B., Schmitt, L., Woorons, X., & Richalet, J. P. (2010). Combining hypoxic methods for speak performance. Sports Medicine, Institute of Sport Science, 40(1) 1-25.
- Orrego, M. L. (2007). Valores de hematocrito y de hemoglobina en deportistas evaluados en Instituto de deportes de Medellín. Acta Medica Colombiana, 197-205.
- Patiño, J. F. (2005). Gases sanguíneos, fisiología de la respiración e insuficiencia respiratoria aguda . Bogotá, Colombia: Editorial medica panamericana.

- Pottgiesser, T., Ahlgrim, C., Ruthardt, S., Dickhuth, H.-H., & Schumacher, Y. O. (2008). Hemoglobin mass after 21 days conventional altitude training at 1816. *Medizinische Universitätsklinik, Abteilung Rehabilitative and Preventive Sportmedizin*, 673-675.
- Shepard, R. (1971). Determinación del gasto cardiaco en el ejercicio de los niños y la metodología de la variabilidad. *acta pediátrica*, 49-52
- Stray-Gundersen, J., Chapman, R.F., & Levine, B.D. (1985) Living high-training low" altitude training improves sea level performance in male and female elite runners. *J Appl Physiol*, 91(3):1113-20
- Wilber, R., Stray-Gundersen, J., & Levine, B. (2007). Effect of Hypoxic "Dose" on Physiological responses and Sea-level Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(9), 1590-1599.
- Wilber, R. (2004). Altitude training and athletic performance. Colorado Springs, Colorado, United States of America: Human Kinetics.
- Wilber, R. (2007) Application of Altitude/Hypoxic Training by Elite Athletes, *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 39(9):1610-1624.
- Wilmore, J., & Costill, D. (2010). *Fisiología del esfuerzo y el deporte*. Barcelona: Paidotribo.