

Intercambio de gases respiratorios, respuestas cardiacas y metabólicas en altitud: estudio en pentatletas ecuatorianos

Breathing gas exchange and cardiac and metabolic responses
by Ecuadorian pentathletes during altitude training

Mario René Vaca García^{1*}
Mónica Estefani Rosas Mora¹
Fernando Lubansky Alarcón Calero¹
Luis Rodrigo Paredes Navarrete¹
Raúl Ricardo Fernández Concepción²
María de los Ángeles Alomoto Mera¹

¹ Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE. Ecuador.

² Universidad “Hermanos Saiz Montes de Oca”. Pinar del Río, Cuba.

*Correo electrónico: mrvaca@espe.edu.ec

RESUMEN

Introducción: El análisis de indicadores biomédicos como parte de la teoría y metodología del entrenamiento deportivo es sustancial en su proceso de dirección. Describe y analiza los efectos fisiológicos del entrenamiento específico en hipoxia en pentatletas es la base prospectiva para modelar entrenamientos efectivos que incidan significativamente en el rendimiento deportivo, permitiendo la dosificación correcta del estímulo físico.

Objetivo: Determinar algunos indicadores relacionados con el intercambio de gases respiratorios, respuestas cardíacas y metabólicas en la altitud de pentatletas masculinos Sub 23 del Ecuador.

Métodos: Se estudió la población del equipo masculino de Pentatlón Militar de las Fuerzas Armadas Ecuatorianas categoría Sub23 (6 sujetos) durante el macrociclo de entrenamiento del año 2014. Se investigaron indicadores de peso, frecuencia cardíaca, vo2 máximo, ritmo, velocidad, lactato, coeficiente de correlación y velocidad de recuperación de la frecuencia cardíaca y del lactato en sangre.

Resultados: Se describieron los datos individuales y promedios de la población estudiada, entre los datos más relevantes se estimó una frecuencia cardíaca en reposo con un promedio de 46,33 %, por debajo de las normativas internacionales. Otros indicadores también se comportaron muy por debajo de lo esperado, aunque el análisis individual de los sujetos mostró características útiles para futuros entrenamientos.

Conclusiones: Potenciar aún más los parámetros funcionales investigados a través de un mejor estímulo físico, aprovechando las ventajas inherentes del entrenamiento en la altura y conformando posteriormente baremos nacionales de interés para el entrenador y la comisión técnica del deporte estudiado.

Palabras clave: intercambio de gases respiratorios; respuestas cardíacas; respuestas metabólicas; altitud; pentatlón.

ABSTRACT

Introduction: Analysis of biomedical indicators as a component of sport training theory and methodology is a crucial part of its management process. Describing and analyzing the physiological effects of specific hypoxic training on pentathletes is the prospective basis to model effective training programs significantly impacting on sport performance, allowing appropriate dosing of physical stimuli.

Objective: Determine some indicators related to breathing gas exchange and cardiac and metabolic responses by male under-23 Ecuadorian pentathletes during altitude training.

Methods: A study was conducted of the male under-23 military pentathlon team of the Ecuadorian Armed Forces (six subjects) during the 2014 training macrocycle. The indicators

analyzed were weight, heart rate, VO₂ max, rhythm, speed, lactate, correlation coefficient, and blood lactate and heart rate recovery speed.

Results: Four tables show the data obtained, both individual and average for the study population. The most relevant data include an estimate of heart rate at rest with an average 46.33 ppm, below international standards. Other indicators were also considerably lower than the values expected, but individual analysis of subjects revealed characteristics useful for future training.

Conclusions: It is recommended to further strengthen the functional parameters studied via a better use of physical stimuli, making use of the advantages inherent to altitude training to eventually develop national standard values of interest to both trainers and the technical committee for the sport being analyzed.

Key words: breathing gas exchange; cardiac responses; metabolic responses; altitude; pentathlon.

Recibido: 10/10/2017

Aprobado: 12/3/2018

INTRODUCCIÓN

Esta investigación se ha realizado con el propósito de aplicar una metodología para conocer el comportamientos fisiológicos y metabólicos de forma individual en deportistas militares, y así poder obtener datos reales de la población ecuatoriana que posee características específicas desde el punto de vista metabólico, dado las particulares del medio geográfico en el cual se realiza el entrenamiento deportivo (Quito: \pm 2600 ms.n.m), aspecto que implica

estudios específicos,⁽¹⁻⁵⁾ y por ende modificaciones sustanciales al instante de planificar el contenido de la preparación del deportista.⁽⁶⁻⁸⁾

El intercambio y transporte de gases en deportistas expuestos a hipoxia es un indicador muy estudiado recientemente como parámetro fisiológico relacionado con enfermedades derivadas de la altitud y el deterioro del rendimiento deportivo,^(9,10) aspecto relacionado con las respuestas cardiacas y metabólicas del organismo. Para el caso específico del deporte, el manejo adecuado de estos datos es de gran valor durante el proceso de entrenamiento del deportista, permitiendo desarrollar y elevar eficientemente el rendimiento deportivo, en específico en trabajos de resistencia,^(1,11,12) valorado los efectos de la carga y la bioadaptación del organismo a un entrenamiento especializado, aspecto imprescindible en la dirección del proceso de entrenamiento del deportista de pentatlón.^(13,14)

El control de indicadores fisiológicos a través de nuevas tecnologías para determinar, analizar y correlacionar el comportamiento del intercambio de gases pulmonares, la frecuencia cardiaca, el ácido láctico y de capacidades físicas como la velocidad y la resistencia entre otros, es un aspecto de la preparación deportiva prioritaria en la teoría y metodología del entrenamiento deportivo, en especial en diversas modalidades del atletismo,^(15,16) incluido la medicina del deporte como componente directamente relacionado.

Sin embargo, al existir factores como los hereditarios e incluso geográficos que influyen significativamente sobre el proceso de detección y selección deportiva,^(17,18) es útil y necesario conformar una base de datos que caracterice algunos indicadores biomédicos en pentatletas ecuatorianos, para entre otros aspectos conformar escalas que incidan sobre la medición y evaluación del desempeño deportivo,^(19,20) dado la carencia de datos presentados en la literatura nacional e internacional. Los datos obtenidos en el proceso de investigación permitirán desarrollar una planificación y aplicación del entrenamiento deportivo de forma empírica, sustentándose en conocimientos obtenidos y desarrollados en un medio tan específico como el ecuatoriano, contribuyendo al ulterior diseño de un modelo real que demuestre los cambios fisiológicos y metabólicos que se producen mediante la aplicación de un test de esfuerzo progresivo en una altura superior a los 2600ms.n.m, aspecto común en que se aplican las cargas de entrenamiento en los pentatletas de la sierra ecuatoriana.

En tal sentido, la investigación posee como propósito determinar algunos indicadores relacionados con el intercambio de gases respiratorios, respuestas cardiacas y metabólicas en la altitud para pentatletas masculinos Sub 23 del Ecuador.

MÉTODOS

El estudio realizado fue de tipo cuasi experimental, analizando parámetros fisiológicos, como el intercambio de gases pulmonares, la acumulación de lactato y la frecuencia cardiaca en la altitud del equipo de pentatlón militar de las Fuerzas Armadas Ecuatorianas durante un macrociclo de entrenamiento. En el presente estudio se aplicó al equipo masculino de Pentatlón Militar de las Fuerzas Armadas Ecuatorianas que se encontraba entrenando con miras al campeonato mundial de cadetes en agosto 2014.

Las muestras se tomaron mediante la aplicación del test progresivo DIPPER,⁽²¹⁾ con el empleo de un analizador de gases pulmonares (VO-2000), medidor de lactato (Accutrend plus) y medidores de frecuencia cardiaca (Polar RCX5) en la pista sintética de la Escuela Superior Militar “Eloy Alfaro” (ESMIL). La población estudiada estuvo compuesta por los seis atletas masculinos que conforman el equipo nacional de pentatlón militar del Ecuador, categoría Sub 23.

RESULTADOS

Los datos obtenidos en los distintos indicadores medidos en estado de reposo (tabla 1), proporcionaron una información individual de 5 indicadores biomédicos, obteniéndose adicionalmente valores promedios, que para el caso del Peso corporal se determina en 63,07Kg, la Frecuencia Cardiaca en 46,33ppm, el índice de Lactato en Sangre de 2,50mmol, el Volumen Máximo de Oxígeno es de 172,75ml/min (En relación al peso corporal) y el valor absoluto promedio del Volumen Máximo de Oxígeno se estimó en 2,78ml/kl/min.

Durante la evaluación con test de Dipper se obtuvo un promedio de velocidad aeróbica máxima de 16,33 Km/h (tabla 2), una correlación con la frecuencia cardiaca de 172 ppm

(FC) y de lactato en sangre como promedio de 7,02 mmol, mientras que el promedio del Vo₂ fue de 50,10 mL/kg/min. Una vez obtenidos los datos antes mencionados, el Coeficiente de Correlación (RQ) promedio en los pentatletas estudiados se estableció en 1,01.

Tabla 1. Datos de la frecuencia cardiaca, lactato, vo₂, en estado de reposo

Datos equipo masculino de pentatlón militar	Peso/Kg	FC/ppm	LACT./ /mmol	VO ₂ / mL/min	VO ₂ / /mL/kg/min
KDT. 1	54,4	46	1,6	199,5	3,67
KDT. 2	70	57	1,6	177	2,53
KDT. 3	57	40	3,2	180	3,16
KDT. 4	60	46	4,5	150	2,5
KDT. 5	67	49	2	150	2,24
KDT. 6	70	40	2,1	180	2,57
PROMEDIO	63,07	46,33	2,50	172,75	2,78

Tabla 2. Correlación entre vco₂/vo₂, lactato, frecuencia cardiaca y VAM

Datos equipo masculino de pentatlón militar	RITMO/ /1000 m.	Velocidad Km/h (VAM)	FC/PPM	LACT./ /mmol	VO ₂ . mL/kg/min	RQ
KDT. 1	0:03:27	17,39	182	6,10	57,46	1,01
KDT. 2	0:03:55	15,32	179	8,60	41,57	1,01
KDT. 3	0:03:29	17,22	167	6,90	55,07	1,01
KDT. 4	0:03:39	16,44	178	9,30	53,97	1,01
KDT. 5	0:03:30	15,00	160	6,80	47,01	1,01
KDT. 6	0:03:38	16,59	168	4,40	45,53	1,01
PROMEDIO	0:03:36	16,33	172	7,02	50,10	1,01

La recuperación de la frecuencia cardiaca progresiva hasta los 5 minutos (tabla 3) al finalizar el test, se obtuvo en promedio en 14,8 ppm (Velocidad de Recuperación de la Frecuencia Cardiaca). En 5 minutos luego de realizado el test de Dipper el promedio del tiempo de recuperación se estimó en 121ppm, partiendo de un promedio inicial de 191 ppm.

Tabla 3. Recuperación de la frecuencia cardiaca progresiva hasta 5 minutos

Datos recuperación FC	FC. REP.	FC LL.	Tiempo de recuperación					Velocidad de rec. ppm.
			1'	2'	3'	4'	5'	
KDT. 1	46	198	150	148	144	143	142	11,2
KDT. 2	57	203	147	143	144	143	142	12,2
KDT. 3	40	190	130	117	104	104	96	18,8
KDT. 4	46	184	145	134	126	124	123	12,2
KDT. 5	49	186	146	140	120	118	112	14,8
KDT. 6	40	187	145	127	119	115	113	14,8
Promedios	46	191	144	135	126	125	121	14,8

El aclaramiento del lactato al finalizar el test de Dipper a los 15 minutos se determinó como promedio en 0,48 mmol/min (tabla 4). El dato anterior se obtuvo a partir al analizar el promedio del lactato en reposo (LACT. REP: 2,50 mmol), el promedio del lactado de llegada (LACT. LL. 17,27 mmol) y los 5 tiempos de recuperación.

Tabla 4. Aclaramiento de lactato progresivo hasta los 15 minutos

Datos recuperación lactato	Lact. Rep.	Lact. Ll.	Tiempo de recuperación					Vel. De rec. Lact. Mmol.
			3'	5'	8'	10'	15'	
KDT.1	1,60	17,00	15,00	14,50	12,80	11,50	10,00	0,47
KDT.2	1,60	17,00	17,00	16,00	15,00	14,50	13,00	0,27
KDT. 3	3,20	16,00	14,00	13,00	11,60	9,00	8,50	0,50
KDT.4	4,50	17,00	16,00	15,80	14,90	13,00	9,00	0,53
KDT. 5	2,00	18,20	14,80	12,30	11,10	10,60	10,50	0,51
KDT. 6	2,10	18,40	13,20	11,50	11,20	10,20	9,30	0,61
PROMEDIOS	2,50	17,27	15,00	13,85	12,77	11,47	10,05	0,48

DISCUSIÓN

Durante la presente investigación, en los deportistas del equipo masculino de pentatlón militar se pudieron analizar y relacionar datos de frecuencia cardíaca, lactato, intercambio de gases pulmonares (VO_2 y VCO_2), coeficiente respiratorio (RQ) entre otros, componentes indispensables en la planificación deportiva.^(1,2,3,10,15) Dicha información fue obtenida en estado de reposo a través del Test de Esfuerzo Progresivo Máximo (DIPPER) y recuperación. Los datos en estado de reposo con valores mínimos de frecuencia cardíaca de 40 ppm, lactato de 1,6 mmol, VO_2 de 150 mL/min, VO_2 de 2,24 mL/kg/min, pulso de O_2 de 3,06 mL/lat, y el MET de 0,64. Los Valores máximos en reposo de frecuencia cardíaca de 57 ppm, lactato de 4,5 mmol, VO_2 mL/mi de 199,5 VO_2 de 3,66 mL/kg/min. Los valores promedio en reposo de frecuencia cardíaca se estimaron en 46,33 ppm, lactato de 2,50 mmol, VO_2 de 172,75 VO_2 mL/min, 2,78 mL/kg/min.

Los pentatletas tienen un VO_2 promedio de en reposo de 172,75, es decir 2,78 mL/kg/min y 0,79. Según *García* y colaboradores,⁽²²⁾ el VO_2 de todo el organismo en su conjunto es de alrededor de 300 mL/min, equivalente a 3,5 mL/kg/min en valores relativos al peso corporal (índice de metabolismo basal), que es el equivalente 1 MET o unidad metabólica que refleja el gasto energético que precisa el organismo para mantener sus constantes vitales.

La frecuencia cardíaca promedio en reposo es de 46,33 ppm, en sujetos entrenados dicha frecuencia cardíaca puede oscilar entre los 28 y 40 latidos/min, tal y como se afirma en *Wilmore* y *Costil*.⁽²³⁾ Por otra parte, el lactato promedio obtenido en la investigación se estimó en 2,50 mmol, las fuentes primarias de investigación indican que en condiciones normales los sujetos sanos que están en reposo y bien oxigenados presentan valores entre 0,7-1,3 mmol/l, tal y como se especifica en *García* y colaboradores,⁽²⁴⁾ indicando que el estímulo físico en el cual se someten los pentatletas estudiados es aún deficiente.

La recuperación promedio obtenida en la presente investigación durante el minuto cinco se estimó como valor mínimo de frecuencia cardíaca en 96 ppm (Atleta 3; tabla 3) y el valor mínimo de lactato en 8,50 (Atleta 3; tabla 4), indicando la necesidad de intensificar el entrenamiento específico en el pentatleta mencionado. El valor máximo de recuperación de frecuencia cardíaca a los 5 min se ubicó en 142 ppm (Atleta 1 y 2; tabla 3), y el valor

máximo de lactato en recuperación se estableció en 13,00 mmol (Atleta 2; tabla 4), indicadores a potenciar por parte del resto del equipo como valores de referencias a seguir.

El valor mínimo de recuperación de frecuencia cardiaca se estableció en 11,2 ppm (Atleta 1: tabla 3), y el valor máximo 18,8 mmol luego de 5 minutos de recuperación (Atleta 3: tabla 3). La velocidad de recuperación promedio de aclaramiento del lactato luego de 15 minutos de recuperación fue de 0,48 mmol/min. El valor mínimo durante la recuperación después de 15 minutos de haber finalizado el test de Dipper se estableció en 0,27mmol/min (Atleta 2: tabla 4), y el valor máximo se estableció en 0,61 mmol/min (Atleta 6: tabla 4).

Tanto los valores máximos como los valores mínimos son referentes importantes para que el entrenador establezca la aplicación de cargas específicas de trabajo físico según el principio de la individualización del entrenamiento deportivo, tomando las decisiones relacionadas directamente con el diseño del contenido de la preparación del pentatleta a estudiar.

Luego de determinar algunos indicadores relacionados con el intercambio de gases respiratorios, respuestas cardiacas y metabólicas en la altitud en pentatletas masculinos Sub 23 del Ecuador, se concluye la necesidad de potenciar aún más los parámetros funcionales investigados a través de un mejor estímulo físico, aprovechando las ventajas inherentes del entrenamiento en la altura y conformando posteriormente baremos nacionales de interés para el entrenador y la comisión técnica del deporte estudiado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Calero-Morales S, Alvarado C, Carlos R, Morales-Pillajo CF, Vilatuña V, Maciel A, et al. Efectos de la hipoxia en atletas paralímpicos con entrenamiento escalonado en la altura. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2017;36(1):1-12.
2. Clavijo JP, Morales S, Cárdenas P. Análisis comparativo de las pruebas físicas del personal naval, región costa y sierra. *Revista Cubana de Medicina Militar*. 2016;45(4):1-15.
3. Rivadeneyra Carranza PE, Calero Morales S, Parra Cárdenas HA. Estudio del vO₂máx en soldados entrenados en menos de 500 y más de 2 000 m snm. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2017; 36(2):12-28.

4. Flaherty G, O'Connor R, Johnston N. Altitude training for elite endurance athletes: A review for the travel medicine practitioner. *Travel medicine and infectious disease*. 2016;14(3):200-11.
5. Larrea B, Maximiliano J, Calero Morales S. The aerobic performance of female military personnel in less than 500 m asl and over 2 000 m asl. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2017;36(3):1-10.
6. Wilber RL. *Altitude training and athletic performance*. USA: Human Kinetics; 2004.
7. Heinicke K, Heinicke I, Schmidt W, Wolfart B. A three-week traditional altitude training increases hemoglobin mass and red cell volume in elite biathlon athletes. *International journal of sports medicine*. 2005;26(05):350-5.
8. Michalczyk M, Czuba M, Zydek G, Zając A, Langfort J. Dietary recommendations for cyclists during altitude training. *Nutrients*. 2016;8(6):377.
9. Salamanca Jiménez D, Bernal García M, Cifuentes López M. Intercambio y transporte de gases en deportistas de alto rendimiento expuestos a hipoxia hipobárica. *Iatreia*. 2018;31(1-S):52.
10. Ilarraza Lomelí H. Prueba de ejercicio con análisis de gases espirados. *Archivos de cardiología de México*. 2012;82(2):160-9.
11. Scott BR, Slattery KM, Sculley DV, Hodson JA, Dascombe BJ. Physical performance during high-intensity resistance exercise in normoxic and hypoxic conditions. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(3):807-15.
12. Faiss R, Girard O, Millet GP. Advancing hypoxic training in team sports: from intermittent hypoxic training to repeated sprint training in hypoxia. *Br J Sports Med*. 2013;47(Suppl 1):i45-i50.
13. Zapata JN, Herrera LD, Zambonino JM, Silva GC, Gallardo PA. El atletismo y su entrenamiento en la altura. *Revista Órbita Pedagógica*. 2018;4(1):41-50.
14. XIE XM, Xie L, Wen YL. The effects of long-term hypoxia on human reaction time [J]. *China Tropical Medicine*. 2007;11:015.
15. Vásquez VE, Riquetti HA, Morales S. Estudio del ácido láctico en el crossfit: Aplicación en cuatro sesiones de entrenamiento. *Revista Cubana de Investigaciones Biomédicas*. 2017;36(3):1-16.

16. Plews DJ, Laursen PB, Stanley J, Kilding AE, Buchheit M. Training adaptation and heart rate variability in elite endurance athletes: opening the door to effective monitoring. *Sports medicine*. 2013;43(9):773-81.
17. Guth LM, Roth SM. Genetic influence on athletic performance. *Current opinion in pediatrics*. 2013;25(6):653.
18. Clarys JP, Alewaeters K, Zinzen E. The influence of geographic variations on the muscular activity in selected sports movements. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2001;11(6):451-7.
19. Sánchez FA, Romero E. Algunos índices antropométricos generales para detectar posibles talentos en diferentes deportes en Ecuador. *Lecturas: educación física y deportes*. 2018 Julio;23(242):108-20.
20. Barcia AE, Alvarado RC, Frómata ER. Normas de detección y selección deportiva para la iniciación en lucha olímpica del Ecuador. 11-12 años. *Lecturas: Educación Física y Deportes*. 2018;23(240):56-72.
21. García M. Planificación y control del entrenamiento de resistencia -Software de entrenamiento- CD Barcelona: Editorial Paidotribo; 2008.
22. Garcia M, Navarro M, Ruiz J. Bases Teóricas del Entrenamiento Deportivo. Madrid: Gymnos; 1996.
23. Wilmore JM, Costill DL. Fisiología del esfuerzo y del deporte. 5th ed. Barcelona: Editorial Paidotribo; 2004.
24. García J, Navarro M, Ruiz JA. Pruebas para la valoración de la capacidad motriz en el deporte. Evaluación de la condición física. Madrid: Editorial Gymnos; 1996.

Conflictos de intereses

Los autores declaran que no poseen conflicto de intereses.