

DESEMPEÑO AERÓBICO DE FUTBOLISTAS JÓVENES EN EJERCICIO SUB-MÁXIMO CON AGOTAMIENTO A MODERADA ALTITUD SIN ACLIMATACIÓN: EXPERIENCIA EN EL CÓNDOR.

YOUNG FOOTBALL PLAYERS AEROBIC PERFORMANCE IN SUB-MAXIMUM EXERCISE WITH EXHAUSTION AT A MODERATE ALTITUDE WITHOUT ACCLIMATION: EXPERIENCE IN EL CONDOR.

Rodolfo Demo, Daniel Senestrari y Julio E. Ferreyra

RESUMEN

Antecedentes: A igual intensidad de esfuerzo sub-máximo, la concentración de lactato sérico (LS) y muscular es mayor en condición de hipoxia o ejercicio en altitud sin aclimatación, respecto normoxia o nivel del mar. El pico de lactato tras la fatiga, o en prueba de condición anaeróbica estricta, no se modificaría con un cambio de altitud sin aclimatación previa. **Objetivo:** Obtener datos locales acerca de la magnitud del efecto de una altitud efectiva de 1.700 mts. sin aclimatación sobre LS, como parámetro de desempeño aeróbico, de futbolistas jóvenes de nuestro medio que viven y entrenan a nivel del mar (NM). **Voluntarios y métodos:** Ensayo experimental auto-controlado con 10 voluntarios (16-18 años), futbolistas de ligas menores de un destacado club local. Dos pruebas en cicloergómetro de esfuerzo físico progresivo hasta fatiga, la primera en el Centro de Alto Rendimiento (CAR) a NM (474mts) y la segunda en villa El Cóndor (EC; 2220mts), provincia de Córdoba. **Protocolo de ejercicio:** calentamiento 2', 30Km/hora con 50W; 3 escalones sucesivos de 3' +50W cada uno; fase final 30Km/hora de 200W hasta fatiga y/o síntomas o tiempo máximo de 15'. **Mediciones LS y FC:** basal, 30'' finales de cada escalón y a

fatiga. Determinación LS con Accusport®. Test de Student para datos apareados a dos colas. **Resultados:** 1 voluntario no cumplimentó la prueba EC (n = 9). Promedio LS basal 2,1 mmol/L en NM y EC ($p = 0,897$), diferencia media EC vs. NM \pm error estándar de $0,5 \pm 0,2$ ($p = 0,033$), $0,9 \pm 0,3$ ($p = 0,008$) y $0,6 \pm 0,3$ mmol/L ($p = 0,103$) en escalón 1, 2 y 3 respectivamente de esfuerzo sub-máximo. En fatiga (pico), LS medio e IC95% de 7,6 (6,5-8,8) y 9,5 (7,8-11,2) mmol/L en NM y EC respectivamente ($p = 0,030$). FC sin cambios en EC respecto a NM. 66% con mayor escala de Borg y 33% de mareos en EC. **Conclusión:** A una altitud efectiva de 1700mts, sin aclimatación, se verificó un menor desempeño aeróbico junto a la percepción subjetiva de mayor intensidad del esfuerzo, pudiendo objetivarse síntomas neurológicos de hipoxia en un tercio de los casos.

ABSTRACT

Antecedents: With the same intensity of sub-maximum effort, the concentration of serum (LS) or muscular lactate is higher in Hypoxia conditions, in relation with normoxia or at sea level (MSL). The highest level of lactate after

Fecha de envío: junio de 2007 • Fecha de aceptación: 17 de agosto de 2007
 Centro formador de Medicina del Deporte - Cátedra Medicina III - U.H.M.I. Nº 3 - Hospital Córdoba
 SGCS - FCM - UNC. Director Prof. Dr. Julio E. Ferreyra.



fatigue or in a test of strict anaerobic condition, would not be modified when altitude changes without previous acclimation. Objective: To obtain local data about the magnitude of the affect in SL of a effective altitude at 1,700 meters without acclimation, as a parameter of aerobic performance of young soccer players of our environment who live and train at sea level. Volunteers and Methods: Self-controlled experimental test with a number of 10 volunteers (16 - 18 years-old), soccer players of lower leagues from an important local sport club. Two tests in a cycle ergometer of a graded physical effort until fatigue, the first one in the Center of High Performance at MSL (474 meters) and the second one in the town El Condor (EC; 2.220 meters), province of Cordoba. Exercise Protocol: warm-up 2', 30 Km/h with 50W; 3 consecutive steps of 3' + 50W each one; final phase 30 Km/h of 200W until fatigue and/or symptoms or maximum time of 15'. SL and HR measurement: basal; the last 30" of every step and in fatigue. SL determination with Accusport®. Two-tailed paired test. Results: 1 volunteer dropped out before completion in EC (n=9). Mean basal SL 2.1 mmol/L at MSL and EC (p=0.897). Mean difference (MD) EC vs. MSL \pm Standard error of 0.5 ± 0.2 (p=0.033), 0.9 ± 0.3 (p=0.008) and 0.6 ± 0.3 mmol/L (p=0.103) in steps 1, 2, 3 respectively of sub-maximum effort. In fatigue (the highest level), Mean SL and Confidence Interval (CI) 95% of 7.6 (6.5-8.8) and 9.5 (7.8-11.2) mmol/L at MSL and EC respectively (p=0.030). Heart Rhythm (HR) without changes in EC in relation to MSL. 66% with a greater Borg scale and 33% of dizziness at EC. Conclusion: At an effective altitude at 1,700 meters without acclimation we can verify a lower aerobic performance with a subjective perception of a greater effort intensity, and neurological symptoms of hypoxia can be objectified in one-thirds of the cases.

INTRODUCCIÓN

La respuesta metabólica al ejercicio en altitud difiere respecto a nivel del mar (NM) dependiendo de la altitud alcanzada, la tasa de ascenso y duración de la aclimatación. Ello estaría en relación a importantes modificaciones medioambientales, donde con la altitud disminuye la presión atmosférica y de oxígeno, incrementa la exposición a radiación solar y ultravioleta, la ionización atmosférica se torna

positiva, disminuye la humedad, disminuye la temperatura y densidad del aire con disminución de la resistencia aerodinámica.

A una altitud moderada (1.000-2.500 mts.), como la que se encuentra en El Cóndor (Sierras de Córdoba), ya se percibirían cambios fisiológicos y funcionales aún con cargas moderadas, aunque no en reposo; al tiempo que no está relacionada con problemas graves de esfuerzo en altitud como edema pulmonar o cerebral. La disminución de la presión parcial de oxígeno lleva a una disminución del gradiente de presión en todos los niveles de la cascada de oxígeno, de manera, que la presión de oxígeno en la mitocondria se hace crítica generando una disminución del consumo máximo de oxígeno (VO₂ máx.).

En virtud de todo ello, en deportistas como los nuestros que viven y entrenan a NM, una competencia aeróbica en altitud por lo general resultaría en un menor desempeño aeróbico, aunque dependiendo de la magnitud de altitud efectiva (altura de competencia menos altura de entrenamiento), la duración de la prueba y el estado de aclimatación.

El lactato juega un papel importante en la producción de energía y el desempeño deportivo, por lo que fisiólogos del deporte han desarrollado varias maneras de medir y controlarlo a lo largo de los últimos años, tanto con el propósito de profundizar el estudio del metabolismo energético en muy diversas condiciones así como para generar aplicaciones directas en la evaluación y optimización del rendimiento físico.

En un ejercicio de esfuerzo sub-máximo realizado a una importante altitud (o en condición de hipoxia), sin aclimatación previa, la concentración de lactato sérico (LS) y muscular resulta mayor respecto al mismo esfuerzo realizado a NM o en condiciones de normoxia (1,2,3).

No obstante si el ejercicio submáximo llega a la fatiga, la concentración máxima de LS («pico de lactato») sería comparable en hipoxia y normoxia (2,4). Probablemente el rendimiento anaeróbico, en términos estrictos y en el contexto de esfuerzo corto de máxima intensidad, no se modificaría con exposiciones agudas a la altitud (5).

Es común que nuestros deportistas locales compitan a una altitud moderada en países vecinos de la región andina, contando con muy escasa información local y específica sobre el comportamiento del lactato en estas condiciones.

No se cuenta aún con información científica local en qué medida se puede ver afectado el desempeño aeróbico de nuestros futbolistas de ligas menores en las condiciones mencionadas.

El Cóndor (Córdoba), fue escogido para este estudio ya que se encuentra asentado a una altitud moderada de 2.220 metros sobre NM, teóricamente suficiente para apreciar los efectos agudos sobre el desempeño aeróbico de la exposición a una condición de hipoxia hipobárica, y a la vez semejante a la que nuestros deportistas se enfrentarían a menudo en algunas competencias latinoamericanas.

Objetivo

Analizar la magnitud del efecto de una altitud efectiva de 1.700 sin aclimatación sobre la concentración sérica de lactato (como parámetro de desempeño aeróbico), de futbolistas jóvenes de nuestro medio que viven y entrenan a nivel del mar, en el contexto del esfuerzo sub-máximo hasta agotamiento.

MATERIAL Y MÉTODOS

Diseño y sinopsis metodológica de estudio

Se llevó a cabo un ensayo experimental auto-controlado sobre una serie seleccionada de futbolistas jóvenes. Se aplicaron dos pruebas de esfuerzo físico progresivo hasta fatiga, la primera a nivel del mar donde viven y entrenan habitualmente los mismos, la segunda a una altitud moderada sin aclimatación. La primera oportunidad corresponde a la prueba testigo (o control) y la segunda a la prueba experimental propiamente dicha. La medida principal de resultado se trató de la concentración de Lactato Sérico (LS) en determinados tiempos de medición durante condiciones de esfuerzo sub-máximo y tras «agotamiento o fatiga muscular».

Población y muestra

Se tomó una muestra conveniente de 10 voluntarios deportistas jóvenes de la población de jugadores de fútbol de ligas menores del Club Atlético Talleres, de la Ciudad de Córdoba. El voluntario debía tener entre 16-18 años de edad, brindar un consentimiento informado verbal para su participación, tratarse de un jugador estable en la temporada inmediata previa, haya asistido regularmente a los entrenamientos

respectivos y encontrarse al momento del reclutamiento en buenas condiciones físicas y clínicas.

Los voluntarios fueron sometidos a examen físico - clínico, ECG estándar de 12 derivaciones, laboratorio (hemograma, glucemia y creatinina) y examen de pico flujo.

Oportunamente se estimó el tamaño de muestra necesario ($n = 10$) para obtener un poder de prueba del 80%, por muestreo inverso con asistencia del software Ene 2.0® (Dpto. Biometría, GlaxoSmithKline SA, Madrid 2005), con la presunción de una magnitud del efecto en el orden de 2mmol/L y una importante heterogeneidad grupal de respuesta (desvío estándar ± 1 -2mmol/L).

Sitios de prueba

La medición o prueba control, correspondiente a «Nivel del Mar» (NM), se llevó a cabo en un predio cerrado del CAR (Centro de Alto Rendimiento), en el estadio mundialista Chateau Carreras de la Ciudad de Córdoba, a una altitud de 474 metros, a los 10 días del mes de marzo de 2006.

La medición o prueba experimental, correspondiente a mediana altitud, se realizó en un predio cerrado de un puesto en la villa El Cóndor (EC), provincia de Córdoba, a una altitud de 2.220 metros, a los 15 días del mes de marzo de 2006.

En ambas pruebas se utilizó el mismo rango horario y los voluntarios cumplieron la prueba en el mismo orden o secuencia en ambas oportunidades. Se midió temperatura ambiental antes de cada prueba individual, tanto a NM como en EC.

Protocolo de ejercicio

El protocolo de ejercicio fue el mismo en ambas pruebas, control y experimental en altitud y en ese orden. Se escogió un protocolo en cicloergómetro de esfuerzo progresivo (sub-máximo) hasta agotamiento físico, con duración variable dependiendo de la capacidad aeróbica de cada sujeto, pero a máximo 15 minutos.

Antes de cada prueba (periodo de preparación), los voluntarios suspendieron el entrenamiento, competencias o esfuerzos físicos extenuantes por lo menos por un periodo de 72 horas. Durante dicho periodo recibieron una dieta convenientemente acondicionada en hidratos de carbono. Se completó con ayuno al

menos durante las dos horas previas a cada prueba.

En cicloergómetro estándar de frenado mecánico, marca Zuccolo, el protocolo inició con 2 minutos de calentamiento con un pedaleo a 30 Km/hora con una carga basal de 50W. Sin interrupción del pedaleo, el protocolo de esfuerzo continuó con una primera adición de 50W durante 3 minutos (Escalón 1), una segunda adición de otros 50W por otros 3 minutos (Escalón 2) y una tercera y última carga de 50W por 3 minutos más (Escalón 3). A partir de ese momento (minuto 11 de la prueba), sin interrupción de pedaleo y manteniendo la velocidad de 30 Km/hora, el sujeto continuó hasta la fatiga en un tiempo variable pero máximo de 4 minutos (hasta minuto 15 de la prueba). Alcanzado el minuto 15 de la prueba sin agotamiento, esta se suspendió y determinó LS (finalización «por protocolo»). Sin fatiga, la prueba también fue finalizada «por protocolo» si el voluntario presentaba síntomas y/o molestias por la hipoxia, tales como cefalea, mareo, náuseas, vómitos, disnea, tos seca u opresión precordial.

Los voluntarios tuvieron disponible un litro de agua mineral, del cual pudieron beber según necesidad, desde unos minutos antes de iniciar la prueba y durante todo el tiempo que duró la misma.

Determinación de Lactato Sérico

La muestra de sangre para determinación de LS se recogió en tira reactiva a partir de punción en lóbulo de oreja, procediendo inmediatamente a la lectura correspondiente en analizador portátil Accusport®. La determinación de LS se realizó, en todos y cada uno de los sujetos, en 5 oportunidades: 1) Basal, correspondiente a un minuto antes de comenzar la prueba, 2, 3 y 4) en los últimos 30 segundos que duró cada uno de los tres escalones de carga progresiva, y 5) tras fatiga, agotamiento o finalización de prueba por protocolo. Cuando el agotamiento se produjo en algún momento de los 3 escalones progresivos del protocolo de ejercicio, la determinación de LS respectiva se registró también como de fatiga.

Otras determinaciones

En condición de reposo se obtuvo un registro de frecuencia cardiaca (FC) antes de cada prueba. En todos los casos también se

contaba con información de peso, talla, tensión arterial, glucemia basal, creatinina sérica, concentración de hemoglobina, hematocrito, recuento de glóbulos blancos y fórmula, a partir de registros recientes (últimos 30 días) aportados por el fisiólogo deportivo del establecimiento en el cual entrenan normalmente los sujetos.

Durante la prueba de esfuerzo en el cicloergómetro, coincidente con cada determinación de LS, se obtuvo además un registro de FC.

Tras el agotamiento o fatiga, se evaluó la Percepción Subjetiva de Esfuerzo (Escala de Borg) y el tiempo total empleado en la prueba (incluyendo siempre el paso de calentamiento).

Análisis estadístico

Las variables cuantitativas basales se describieron en términos de media aritmética, desvío estándar y rango (mínimo - máximo). LS y FC se describieron en términos de media aritmética e Intervalo de Confianza 95% (IC95%) de la media respectiva, para cada una de las mediciones y en ambas pruebas. Se calculó la diferencia media entre NM y EC para cada una de las cinco mediciones, el error estándar respectivo, y se analizó significación estadística correspondiente mediante test de Student para datos apareados a dos colas.

RESULTADOS

Se reclutaron 10 voluntarios, jóvenes futbolistas sanos, de 16-18 años de edad actual y promedio $4,5 \pm 2$ años de antigüedad en el deporte (rango 2-8 años).

El examen cardiovascular fue normal en todos los casos, observándose únicamente soplo sistólico 1-2/6 en posición decúbito en 3 casos, sin significado clínico y ecocardiograma bidimensional normal; encontrándose el examen electrocardiográfico dentro de parámetros clínicos normales, aunque en 4 casos se observó algún trastorno mínimo de conducción de rama derecha (40%). Las cifras medias de tensión arterial y frecuencia cardiaca se muestran en tabla I, así como los valores de pico flujo e índice de masa corporal, también siempre dentro del rango normal. Los parámetros de laboratorio se encontraron también dentro de la normalidad en todos los casos (ver tabla II).

La temperatura ambiente a NM estuvo en el rango 24-27°C entre primera y última prueba, mientras que a exactamente mismo horario y con 5 días de diferencia en EC se encontró en el rango 18-20°C respectivamente. Entre primera y segunda prueba, a escala individual, la diferencia de temperatura se encontró en el orden de 5 a 7°C, siempre menor en EC.

De los próximos análisis, se excluyó uno de los diez sujetos voluntarios, dado que no participó de la prueba en EC.

En figura 1 y 2 se muestran las curvas de lactato individuales (cada sujeto), que resultaran de las mediciones a NM y EC respectivamente, mientras que en figura 3 se muestran comparativamente las curvas de concentración promedio (de grupo). Los valores medios de la concentración de LS de grupo y las bandas mínimo - máximo del IC95% respectivas, en cada momento de medición para cada una de las dos pruebas se resumen en tabla III.

La concentración de LS en la prueba de esfuerzo sub-máximo en EC, excepto en la medición basal, siempre resultó mayor respecto a la concentración observada a NM (ver figura 3), mostrando valores significativamente más elevados en el escalón 1 ($p = 0,033$), 2 ($p = 0,008$) y en el escalón final de esfuerzo hasta fatiga ($p = 0,030$) (ver tabla III para más detalles).

Las diferencias grupales promedio entre EC y NM, en términos absolutos (tabla III), se observaron < 1 mmol/L durante el esfuerzo sub-máximo, aunque próxima a 2 mmol/L en torno a la fatiga.

Al mismo tiempo, el progreso de la frecuencia cardiaca grupal promedio fue exactamente la misma, a NM y EC (Tabla IV y figura 4).

La prueba de esfuerzo a NM, en 7 de 9 sujetos analizados (77,8%), se suspendió al cabo de 15 minutos de acuerdo a protocolo sin alcanzar fatiga; mientras que en los 2 restantes (22,2%) el voluntario refirió «fatiga muscular o agotamiento» y abandonó la prueba (uno a los 10 y otro a los 13 minutos). En EC, la prueba se suspendió por protocolo al cabo de 15 minutos en 5 de 9 sujetos (55,5%), mientras que en los 4 restantes la prueba fue suspendida en relación a fatiga muscular y/o mareos (44,4%). El mareo estuvo presente en 3 de 9 voluntarios (33,3%) durante prueba EC (uno a 9,5 minutos y otros dos a 11,2 minutos con fatiga).

En cuanto a percepción subjetiva de esfuerzo (PSE), 6 de 9 voluntarios (66,7%) refirieron «mayor esfuerzo» en la prueba de EC respecto a NM, en general con un puntaje en escala Borg de 16-18 a NM y 16-20 en EC. Los tres restantes que refirieron «igual o similar esfuerzo» en ambas pruebas, compartían un Borg de 14-17 puntos en los dos momentos.

Tabla I.- Edad, índice de masa corporal, tensión arterial, frecuencia cardiaca y pico flujo en la evaluación basal en la muestra de 10 futbolistas voluntarios.

	Media	Desvío estándar	Rango (min - máx)
Edad (años)	16,7	0,7	16 - 18
IMC (Kg/m ²)	22,1	1,2	19,4-23,4
Tensión arterial sistólica (mmHg)	106,5	9,7	90 - 120
Tensión arterial diastólica (mmHg)	60,0	7,5	50 - 70
Frecuencia cardiaca (lat/min)	61,3	5,0	50 - 66
Pico flujo	494	62	400 - 630

Tabla II.- Parámetros de laboratorio en la evaluación basal de la muestra de 10 futbolistas voluntarios.

Parámetros de laboratorio	Media	Desvío estándar	Rango (min - máx)
Hematocrito (%)	44,71	1,45	42,1 - 47,0
Hemoglobina (grs%)	14,75	0,62	13,9 - 16,1
Glóbulos blancos (n/ml)	6.250	1.350	3.600 - 8.000
Neutrófilos (%)	58,6	6,0	48 - 68
Glucemia (grs/l)	0,90	0,07	0,73 - 0,98
Creatinina (mg%)	1,20	0,14	1,0 - 1,5

Tabla III.- Valores medios (X) e IC95% respectivo de la concentración de Lactato sérico (mmol/L) a Nivel del Mar y en El Cónдор. Se muestra también la diferencia absoluta (y error estándar respectivo) entre ambas pruebas en cada momento de medición.

Mediciones	Nivel del Mar	El Cónдор	Diferencia	P
	X (IC95%)	X (IC95%)	X (EE)	
Basal (0 minutos)	2,1 (2,0-2,3)	2,1 (1,9-2,4)	< 0,1 (0,09)	0,897
Escalón 1 (5 minutos)	3,0 (2,4-3,6)	3,5 (3,1-3,9)	0,5 (0,2)	0,033
Escalón 2 (8 minutos)	3,9 (3,3-4,4)	4,8 (4,4-5,2)	0,9 (0,3)	0,008
Escalón 3 (11 minutos)	5,8 (4,9-6,6)	6,4 (5,3-7,4)	0,6 (0,3)	0,105
Agotamiento (11 -15 minutos)	7,6 (6,5-8,8)	9,5 (7,8-11,2)	1,9 (0,7)	0,030



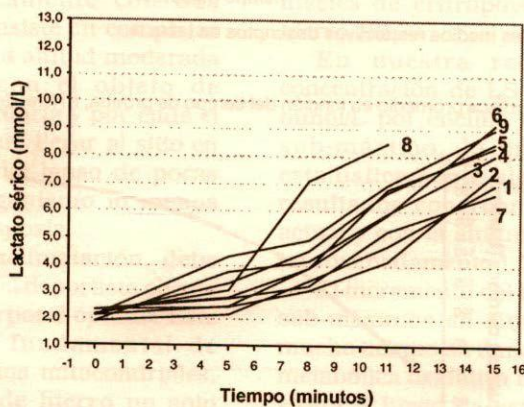
La significación estadística (p) fue calculada con Test de Student para datos apareados.

Tabla IV.- Valores medios (X) e IC95% respectivo de la frecuencia cardiaca (lat/min) a Nivel del Mar y en El Cónдор.

Mediciones	Nivel del Mar	El Cónдор	P
	X (IC95%)	X (IC95%)	
Basal (0 minutos)	60,6 (56,1-65,1)	63,6 (56,8-70,5)	0,321
Escalón 1 (5 minutos)	134,6 (124,5-144,7)	133,9 (124,7-143,0)	0,798
Escalón 2 (8 minutos)	158,1 (149,6-166,6)	159,1 (152,0-166,2)	0,696
Escalón 3 (11 minutos)	175,8 (167,3-184,2)	176,1 (168,9-183,3)	0,871
Agotamiento (11 -15 minutos)	186,0 (179,7-192,3)	185,0 (179,9-190,0)	0,665

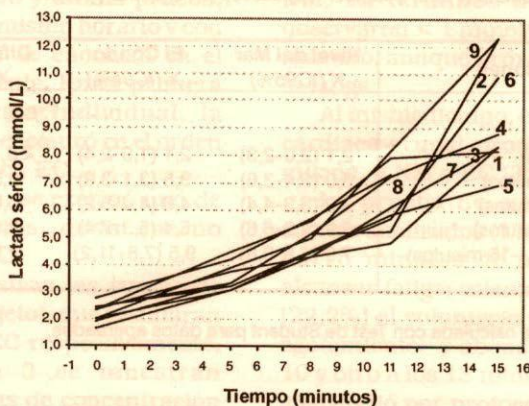
La significación estadística (p) fue calculada con Test de Student para datos apareados.

Figura 1.- Comportamiento individual de la concentración sérica de lactato en función del tiempo de prueba de esfuerzo a Nivel del Mar (n = 9)



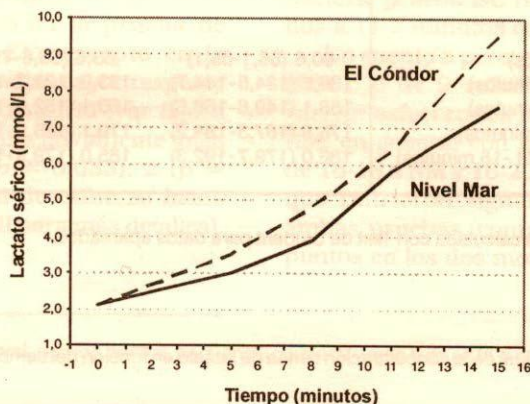
Los números representan a cada uno de nueve voluntarios analizados. El voluntario número 8 mostró fatiga dentro del escalón 3, próximo a los 11 minutos de la prueba.

Figura 2.- Comportamiento individual de la concentración sérica de lactato en función del tiempo de prueba de esfuerzo en El Cónдор (n = 9).



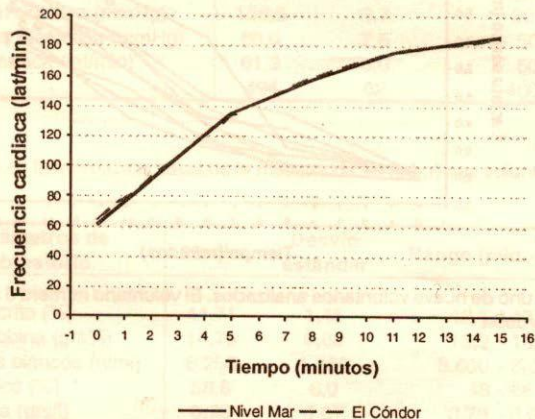
Los números representan a cada uno de nueve voluntarios analizados. El voluntario número 8 mostró fatiga dentro del escalón 3, próximo a los 11 minutos de la prueba.

Figura 3.- Curvas de concentración promedio de lactato sérico en función del tiempo de prueba, a Nivel del Mar y a 2.200 metros de altitud de El Cónдор.



La gráfica corresponde a los valores medios respectivos descritos en tabla III.

Figura 4.- Curvas de frecuencia cardiaca promedio en función del tiempo de prueba, a Nivel del Mar y a 2.200 metros de altitud de El Cónдор.



La gráfica corresponde a los valores medios respectivos descritos en tabla IV.



DISCUSIÓN

Nos pareció interesante poder iniciar ésta y quizá otras investigaciones en El Cóndor, sierras de Córdoba, ya que se encuentra a pocos kilómetros de distancia de la residencia habitual de la mayoría de nuestros deportistas y a una altitud equivalente con las de algunas competencias latinoamericanas frecuentes a las que asisten; además que a la misma altitud de importantes centros internacionales de preparación física, tales como Saint Moritz (Suiza), Ciustierra (Italia), Colorado Spring (EEUU), Ciudad de México o Toluca (México) o Addis - Abeba (Etiopía).

El entrenamiento físico de alto rendimiento a altitudes moderadas puede ser un método a través del cual se consigue un aumento fisiológico de eritropoyetina sin recurrir al doping, con el consiguiente beneficio en ciertos tipos de disciplinas deportivas, fundamentalmente aeróbicas. A una altitud como en El Cóndor, la presión alveolar de O₂ disminuye lo suficiente para producir un verdadero estímulo hipóxico con el consiguiente incremento de eritropoyetina.

Poco se discute hoy en día sobre los beneficios de la estadía en altitud moderada por periodos cortos (semanas) sobre el rendimiento deportivo en ésta, notándose particularmente aumento de resistencia ante esfuerzos sub-máximos (6,7).

Los futbolistas nativos de nivel del mar que necesitan competir circunstancialmente en altitud y requieren optimizar o adecuar el desempeño aeróbico, cuentan básicamente con dos alternativas. La primera consiste en completar un periodo de aclimatación a altitud moderada de entre 3-4 semanas con el objeto de incrementar la masa eritrocitaria y por ende el transporte de oxígeno; o bien, llegar al sitio en altitud y competir dentro del lapso de pocas horas para someter al organismo lo menos posible a los efectos de la hipoxia.

En el primer caso de aclimatación, debe previamente asegurarse que el deportista cuente con el depósito de hierro corporal óptimo. Este último es constituyente fundamental de hemoglobina y los citocromos mitocondriales, por lo que la deficiencia de hierro no solo compromete el transporte de oxígeno sino también la utilización del mismo y el desempeño aeróbico, aún en atletas no anémicos (8). Al respecto, es conveniente suplementar con hierro oral, mejor tolerado en proporciones pediátricas

líquidas, distribuidas en 2-3 tomas diarias junto a vitamina C y E.

Adicionalmente, deberán considerarse la hidratación por el mayor riesgo habitual a deshidratarse en altitud y la dieta rica en hidratos de carbono, ya que estos son el principal sustrato energético en estas condiciones, tanto en esfuerzos sub-máximos como máximos.

Otra posibilidad, extendiendo los beneficios de la aclimatación a las competencias locales a nivel del mar, sería implementar alguna modalidad o programa de entrenamiento «Alto-Bajo» (vivir alto y entrenar bajo); consistente básicamente en estadía en altitud (con/sin entrenamiento de baja intensidad) más entrenamiento de alta intensidad a nivel del mar, aunque en deportistas de alto nivel y rendimiento también podría entrenarse con alta intensidad en la altitud (9,10). El programa se realiza durante 4 semanas como puesta a punto previa a una competencia, obteniendo los mejores rendimientos entre las 2-3 semanas de la vuelta a nivel del mar, pudiéndose repetir estos ciclos 4 o más veces al año.

Para probar la utilidad de dichos programas, nuestros deportistas contarían con la ventaja excepcional de reunir ambas condiciones de altitud en muy poca distancia y bajos costos operativos.

No todos los deportistas responden favorablemente al modelo «Alto-Bajo», ni tampoco es beneficioso en todas las disciplinas, donde la mayor o menor respuesta individual a estos programas tiene alguna relación con los niveles de eritropoyetina y los depósitos de hierro (8).

En nuestra reciente experiencia, la concentración de LS en EC se encontró 0,5-1 mmol/L por encima a NM durante el ejercicio sub-máximo, lo cual resulta un cambio estadísticamente significativo, siendo estos resultados congruentes con el conocimiento actual y con la altitud efectiva del experimento (aproximadamente 1.700 metros).

El incremento del lactato sérico en esfuerzos sub-máximos en altitud sin aclimatación fue mucho tiempo atribuida a una menor capacidad metabólica oxidativa muscular, lo cual perdería vigencia luego de estudios como «Operación Everest II» o «Pikes Peak» (11, 12), ya que entre otras evidencias, la hipoxia a una altitud equivalente al monte Everest no fue suficiente para deteriorar el metabolismo oxidativo muscular.

La hipótesis de la glucosa dependencia con la hipoxia hipobárica sería la respuesta alternativa, sea con o sin aclimatación, en reposo o en el esfuerzo, se acompañaría de una mayor utilización y requerimiento muscular de glucosa plasmática como sustrato energético (1, 13, 14).

No esperábamos sin embargo una diferencia significativa de LS en EC respecto a NM al momento de «fatiga», es decir en cuanto a «pico de lactato» se refiere, puesto que desde hace más de 50 años se sostiene, avalado luego por reiteradas investigaciones, que el pico de lactato no se modificaría con esfuerzos en altitud sin previa aclimatación (4). En este contexto, sólo las competencias menores a dos minutos de duración no se verían afectadas en su rendimiento, inclusive hasta pueden beneficiarse con la disminución de la densidad del aire, tal como fuera apreciado en las olimpiadas de México en 1968.

Probablemente, nuestra observación particular tenga relación directa con un error durante la definición de nuestro protocolo, más precisamente en la aplicación estricta del criterio de finalización de la prueba por parte del investigador si ésta se prolongaba por 15 minutos. De hecho, a NM el 78% de los voluntarios realmente no refirió «fatiga muscular», cuando cumplido el minuto 15 la prueba fue de todos modos finalizada «por protocolo». En las mismas circunstancias sólo se finalizó el 56% de las pruebas en EC. En otras palabras, una importante proporción de voluntarios no habrían alcanzado el «pico de lactato», hecho que aconteció más frecuentemente a NM. Esto podría explicar también porqué nuestros valores de «pico de lactato» a NM resultan relativamente bajos respecto a los descriptos en otros artículos.

La frecuencia cardiaca es considerada un buen indicador de la intensidad del esfuerzo. Además del valor de la FC máxima alcanzada, es importante la relación existente a lo largo del esfuerzo entre la intensidad de la carga y la FC correspondiente que deben mantener una intensidad prácticamente lineal (salvo quizá en las proximidades del esfuerzo máximo). En nuestro caso, con una intensidad de carga reglada, a juzgar por la estrecha similitud en el comportamiento de FC en NM y EC, deducimos que la intensidad del esfuerzo en ambas pruebas fue realmente el mismo, más allá de que lógicamente el esfuerzo en altitud sea percibido subjetivamente (escala Borg) superior en la mayoría de los voluntarios.

La «resistencia aeróbica», entendida como el tiempo que se puede sostener un ejercicio sub-máximo, disminuye significativamente con la altitud, dado que para un mismo nivel de consumo de oxígeno (VO₂) en altitud la intensidad relativa del ejercicio es mayor (%VO₂ máx.); donde se asume que el VO₂ requerido a una intensidad de ejercicio determinado es similar en altitud como a nivel del mar.

Pero en hipoxia aguda, a una misma intensidad de ejercicio en ambas pruebas, también es cierto que se esperarían valores teóricos sub-máximos más altos de FC, así como de ventilación, gasto cardiaco y lactato. No obstante, están descriptos cambios e» 20 latidos/minuto recién a los 4.000 metros de altitud efectiva, más del doble de la de nuestro experimento (1.700 metros).

Algunos comentarios finales. Cuando programamos el estudio, habíamos supuesto una magnitud de efecto mayor de la altitud sobre LS (aproximadamente 2 mmol/L), que junto con un supuesto de error estándar de 0,5-1 mmol/L y un desvío estándar de 1-2 mmol/L, nos informaba que requeríamos 10 voluntarios para obtener el poder estadístico de prueba suficiente (%1-beta: 80%). La magnitud final fue la mitad o menor de lo esperado (d» 1 mmol/L) e incluso debimos excluir a un voluntario del estudio, por lo cual se hubiera visto afectado el poder de prueba a no ser porque afortunadamente el error y desvío estándar real fue mucho menor de lo supuesto (mayor homogeneidad de respuesta dentro del grupo). Finalmente el estudio contó con un poder de prueba e» 70% para corroborar efectos significativos (e» 0,55 mmol/L) sobre LS a una altitud efectiva de 1700 metros.

Entre ambas pruebas las condiciones climáticas fueron similares aunque lógicamente hubo una diferencia de temperatura ambiental de 5-7 °C según el caso, lo cual suponemos no afectó los resultados significativamente. En este tipo de ensayos es aconsejable esperar 36-72 horas entre pruebas a fin de reponer completamente los niveles de glucógeno, ya que un cambio muy importante en los depósitos puede afectar la segunda prueba independientemente del cambio de altura. El descanso, el horario de las pruebas y el control nutricional también es fundamental con el mismo objetivo.



CONCLUSIÓN

A una altitud efectiva de 1700mts, sin aclimatación, se verificó un menor desempeño aeróbico en ejercicio sub-máximo (mayor lactato sérico) junto a la percepción subjetiva de mayor intensidad de esfuerzo, pudiendo objetivarse síntomas neurológicos de hipoxia en un tercio de los casos. El protocolo de ejercicio implementado no habría sido adecuado para la medición del pico de lactato sérico asociado a fatiga muscular.

AGRADECIMIENTOS

Córdoba Alto Rendimiento (CAR); Juan C. Rodríguez, Luis López y Ariel Borgogno; Silvia Cepeda, Maricel Cepeda.

BIBLIOGRAFÍA

1. Knuttgen HG, Saltin B (1973). Oxygen uptake, muscle high energy phosphates and lactate in exercise under acute hypoxic condition in man. *Acta Physiol Scand.* 87:368-376.
2. Linnarson D, Karlsson J, Fagraeus L, Saltin B (1974). Muscle metabolites and oxygen deficit with exercise in hypoxia and hyperoxia. *J Appl Physiol.* 36:339-402.
3. Pronk M, Tiemessen I, Hupperets MD, Kennedy BP, Powell FL, Hopkins SR, Wagner PD (2003). Persistence of the lactate paradox over 8 weeks at 3,800 m. *High Alt Med Biol.*; 4(4): 431-43.
4. Asmussen E, Döbeln WV, Neilsen (1948). Blood lactate and oxygen debt after exhaustive work at different oxygen tensions. *Acta Physiol Scand.* 15:57-62.
5. Coudert J. Anaerobic performance at altitude (1992). *Int J Sport Med.* 13(Suppl. 1):S82-5
6. Maher JT, Jones LG, Harley LH. Effects of high-altitude exposure on submaximal endurance capacity of men. *J Appl Physiol* 1974; 37: 895-898.
7. Hortsman D, Weiskopf R, Jackson RE. Work capacity during 3-wk sojourn at 4300m: effects of relative polycythemia. *J Appl Physiol* 1980; 49: 311-318.
8. Stray-Gundersen J, Alexander C, Hochstein A, et al. Failure of red cell volume to increase with altitude exposure in iron deficient runners. *Med Sci Sports Exerc* 1992; 24(Suppl): S-90.
9. Levine BD, Stray-Gundersen J (1997). Living high - training low: effect of moderate-altitude acclimatization with low-altitude training on performance. *J Appl Physiol* 1997; 83: 102-112.
10. Stray-Gundersen J, Chapman JR, Levine BD (1998). HILO training improves performance in elite runners. *Med Sci Sports Exerc* 1998; 30: Suppl S-35 (Abstract).
11. Green HJ, Sutton J, Young P, Cymerman A, Houston CS. Operation Everest II: muscle energetics during maximal exhaustive exercise (1989). *J Appl Physiol.* 66(1):142-150.
12. Reeves JT, Wolfel EE, Green HJ, Mazzeo RS, Young AJ, Sutton JR, Brooks GA (1992). Oxygen transport during exercise at altitude and the lactate paradox: lessons from Operation Everest II and Pikes Peak. *Exerc Sport Sci Rev.*; 20:275-96.
13. Hermansen L, Saltin B (1967). Blood lactate concentration during exercise at acute exposure to altitude. In: *Exercise at altitude*, edited by R Mongania, Amsterdam. *Excerpta Med.* 1967; pp 48-53.
14. Brooks GA, Butterfield GE, Wolfe RR, Groves BM, Mazzeo RS, Sutton JR, Wolfel EE, Reeves JT (1991). Increased dependence on blood glucose after acclimatization to 4,300 m. *J Appl Physiol.*; 70(2):919-27.