PubliCE, (PubliCE) 2000

Research

Rendimiento de Futbolistas Profesionales Aclimatados y no Aclimatados a la altura, a 3600 metros

Tom D Brutsaert[1], Hilde Spielvoegel[2], Rudy Soria[2], Mauricio Araoz[2], Giliane Buzenet[3], Esperanza Cáceres[2], Mercedes Villena[2], Enrique Vargas[2] y Mariano Paz-Zamora[4]

[1]*Cornell University, Ithaca, New York.*
[2]*Instituto Boliviano de Biología de la Altura, La Paz, Bolivia.*
[3]*Claude Bernard Université, Lyon, Francia.*
[4]*Federación Boliviana de Fútbol, La Paz, Bolivia.*

RESUMEN

Los partidos del Fútbol Europeo son frecuentemente jugados a nivel internacional en regiones montañosas de Sudamérica. En este estudio, fueron medidas las respuestas del ejercicio durante una ergometría en ciclo ergómetro y la tasa de gasto energético (RFE) en un partido de fútbol. Las evaluaciones fueron realizadas en dos grupos de futbolistas profesionales a gran altura (3600 m) y cerca del nivel del mar (420 m). Los sujetos residían en la altura y de este modo estaban aclimatados (n = 9) (HA), o residían cerca del nivel del mar y no estaban aclimatados (n = 11) (LA). Los dos grupos estudiados mostraron una gran disminución del RFE (0,187 kcal/kg/min, o una disminución de un 16 %) y del pico de consumo de oxígeno (pico de VO_2) en la altura (10,78 ml/kg/min para HA y 6,27 ml/kg/min para LA). Esta disminución en pico de VO_2 con la altura fue mayor en el grupo de jugadores LA vs. el grupo HA (20 % vs. 13 %). Los jugadores LA mostraron también los mayores equivalentes ventilatorios para el oxígeno, menores saturaciones arteriales de oxígeno, y mayores concentraciones arteriales de lactato durante el ejercicio submáximo. Debido a que la capacidad aeróbica es una determinante importante del rendimiento en un partido de fútbol, estos resultados pueden tener alguna relevancia para debatir sobre una ventaja de los equipos aclimatados a la altura en los partidos de fútbol jugados en alturas moderadas a altas.

Palabras Clave: gasto energético, bolivia, gran altura, hipoxia, pico de VO2

INTRODUCCIÓN

Los partidos internacionales de fútbol a jugados gran altura, son muy comunes en Sudamérica, donde los partidos son frecuentemente realizados arriba de 2500 m (eg., La Paz, Bolivia, 3600 m; Oruro, Bolivia, 3800 m; Cuzco, Perú, 3300 m; y Quito, Ecuador, 2800 m). Recientemente antes de la ronda clasificatoria sudamericana para la Copa del Mundo 1998, la Comisión de Medicina Deportiva de la Federación Internacional de Asociaciones de Fútbol (FIFA) recomendó que los partidos de fútbol que fueran a ser jugados arriba de 3000 m, “deben ser jugados solo con la condición de que un período

de aclimatación de 10 días sea respetado". Esto esta relacionado al efecto fisiológico de la exposición aguda a la altura sobre el rendimiento del ejercicio. Sumado a la bien conocida disminución del máximo consumo de oxígeno (1, 2, 3, 4), para un nivel dado de consumo de oxígeno submáximo (VO_2) comparado con el nivel del mar, el estress general del ejercicio en hipoxia está documentado por una menor saturación arterial de oxígeno (SaO_2) (3), una mayor frecuencia cardiaca (HR), un mayor equivalente ventilatorio para el oxígeno (Ve/VO_2) (5, 6), un incremento de la producción de lactato (7, 8), y mayores niveles de catecolaminas circulantes (9, 10). Frecuentemente se presentan síntomas de la enfermedad aguda de la montaña (AMS) durante los primeros días de la exposición a altura moderada, los cuales incluyen, dolor de cabeza, perdida del apetito, nauseas, cansancio anormal, falta de la respiración y mareos (11). Estos síntomas pueden ser exacerbados por el ejercicio y pueden contribuir a la tasa incrementada de fatiga percibida durante el ejercicio, que ha sido reportada en sujetos no aclimatados comparados con sujetos nativos de alturas moderadas durante una exposición aguda (2 días) a 4270 m (12).

En este artículo científico nosotros reportamos hallazgos de un estudio que investigo el ejercicio en futbolistas profesionales aclimatados (HA) y no aclimatados (LA) a la altura, en Bolivia. Cada uno de estos grupos de sujetos fue evaluado en la altura (La Paz, Bolivia, 3600 m) y también cerca del nivel del mar (Santa Cruz, Bolivia, 420 m), usando un estudio con entrecruzamiento. Las diferencias del rendimiento con la exposición a la altura fueron medidas durante ejercicio máximo y submáximo en un ciclo ergómetro, y fue monitorizada la frecuencia cardiaca en un subgrupo de jugadores durante partidos de fútbol jugados en los dos ambientes. La técnica de monitorización de la frecuencia cardiaca (HR) puede ser usada para obtener una estimación de la tasa de gasto energético durante un partido de fútbol (13). Los datos presentados aquí proveen una revelación a la cuestión de si los equipos no aclimatados están ante una desventaja fisiológica cuando juegan contra equipos aclimatados a la altura en partidos de importancia internacional, a gran altura.

MÉTODOS

Sujetos

Este estudio fue revisado por la Junta de Revisión Internacional del Instituto Boliviano de Biología de la Altura, en La Paz, Bolivia, debido al uso de seres humanos en la investigación. Todos los sujetos fueron informados acerca de los riesgos y beneficios del estudio, los sujetos dieron consentimiento por escrito. Todos los sujetos eran jugadores profesionales varones de la Liga Profesional de Fútbol de Bolivia, los sujetos fueron divididos en dos grupos de estudio: (1) aclimatados a la altura (HA) y (2) no aclimatados a la altura (LA). Los jugadores aclimatados HA venían de equipos profesionales, y vivían y entrenaban en La Paz, Bolivia, a 3600 m. Los jugadores LA venían de equipos que vivían y entrenaban en Santa Cruz, Bolivia a 420 m. Como es la naturaleza de la Liga Boliviana de Fútbol, los jugadores hacían frecuentemente viajes entre lugares de gran altura y baja altura. La inclusión en el estudio se baso en el ambiente de residencia, así como en los niveles de hemoglobina (Hb) consistentes con la altura de residencia. Para la mayoría de los jugadores (> 90 %), el tiempo ininterrumpido de residencia en sus hogares antes del estudio excedía el mes y los viajes previos a grandes o bajas alturas no habían sido más largos de 2 días. Ninguno de los jugadores no aclimatados había estado a moderada o gran altura por lo menos un mes previo al estudio. La mayoría de los jugadores había nacido y crecido cerca del nivel del mar, con solo dos jugadores aclimatados HA que habían nacido arriba de 2000 m. Una evaluación de la función pulmonar fue usado para confirmar la similitud total entre los grupos de jugadores estudiados en la capacidad vital forzada (FVC), ya que los individuos que nacen y crecen en moderadas a grandes alturas tienen pulmones más grandes, que pueden contribuir a una capacidad de intercambio pulmonar de gases incrementada (14). En cada grupo de estudio fue seleccionada una distribución igual de posiciones de los jugadores (defensores, medio campistas y delanteros).

Diseño del Estudio

Un total de 20 jugadores participaron en este estudio (11 HA y 9 LA). Todos los jugadores fueron evaluados en los dos ambientes: (1) La Paz, Bolivia (3600 m) y (2) Santa Cruz, Bolivia (420 m). Cada jugador fue evaluado en el ambiente en que vivía primero. La evaluación en el ambiente en que no vivía se realizo dentro del mes luego de realizado la evaluación en donde vivía. Todos los sujetos fueron evaluados al mismo tiempo, entre el arribo y las 48 horas de llegada al ambiente donde no se vivía. Así, con respecto a los jugadores LA, la evaluación en la altura ocurrió antes de lograr una aclimatación ventilatoria y renal total, que generalmente se completa luego de mas de 6 días (15). Debido a que el estudio se realizo durante la mitad de la temporada boliviana profesional de fútbol, el nivel de entrenamiento fue constante a lo largo de la duración del estudio.

Antropometría y Análisis Hematológico

Todos los sujetos fueron medidos utilizando técnicas antropométricas estándar, en orden de establecer la similitud general

entre los grupos LA y HA. Las mediciones incluían, talla, peso, ancho del pecho (diámetro transversal del pecho), profundidad del pecho (diámetro antero-posterior del pecho), ancho del codo, pliegues bicipital, tricipital y subescapular. De las mediciones de pliegues cutáneos fue calculada la densidad corporal de acuerdo a las ecuaciones Durnin y Womersly (16). La ecuación de Siri (17) fue usada para calcular el porcentaje de grasa corporal, y de este valor se calculo la masa magra (FFM) para cada individuo. La función pulmonar fue evaluada con un espirómetro Collins de 9 litros (Warren Collins, Braintree, MA). Cada sujeto realizo una inspiración máxima, seguida inmediatamente por una espiración máxima forzada mientras cada sujeto permanecía sentado. De este procedimiento fue determinada la capacidad vital forzada (FVC) basada en el mejor de al menos dos esfuerzos. La FVC fue corregida por el BTPS. La concentración de hemoglobina sanguínea (Hb) fue medida antes del ejercicio, a partir de una muestra de sangre capilar del dedo, usando un analizador de hemoglobina sanguínea Hemocue (Angelholm, Sweden).

Evaluación en Ciclo Ergómetro

Las evaluaciones en el laboratorio fueron realizadas en un ciclo ergómetro frenado mecánicamente, y consistieron en un ejercicio continuo con tasas incrementadas de trabajo a aproximadamente 60, 90, 125 y 160 watts, con una duración de 4' cada carga, seguidas de incrementos de 30 watts cada 3' hasta la extenuación de cada sujeto. Las cargas de trabajo iniciales de 4' cada una, aseguraron un consumo de oxígeno en estado estable (steady state). Durante las evaluaciones en ejercicio, los sujetos inspiraron el aire de la habitación a través de una válvula respiratoria de baja resistencia. Las frecuencias espiratorias de O_2 y CO_2 fueron medidas continuamente por una cámara mezcladora, utilizando un analizador de O_2 Applied Electrochemistry S-3A, y un analizador de CO_2 Beckman LB-2, respectivamente. Los analizadores de gases fueron calibrados con gases estándar antes de cada evaluación. El volumen minuto inspiratorio (Ve-BTPS) fue medido con un contador de gas seco (Rayfield Electronics), que fue calibrado con una jeringa de calibración de 3 litros. Estos datos fueron procesados por un sistema de calorimetría indirecta de análisis automático de los gases expirados (Rayfield Electronics, REP-200B) para producir cada 30'', cálculos del VO_2, producción de dióxido de carbono (VCO_2), y ventilación por minuto (Ve-Btps). El cociente de intercambio respiratorio (RER) y el equivalente ventilatorio para el oxígeno (Ve/VO_2) fueron calculados a partir de estos datos. La frecuencia cardiaca (HR) y la saturación arterial de oxígeno (SaO_2) fueron monitoreadas continuamente durante el ejercicio utilizando un monitor de frecuencia cardiaca Vantaje XL Polar (Electric Oy, Sweden) y un contador de oxígeno Criticare Systems SO1+ (Criticare Systems Inc., Waukeshau, WI). El pico de VO_2 fue definido como el pico de consumo de oxígeno al punto de fatiga volitiva. Fueron obtenidas muestras de sangre de los dedos en reposo, en los niveles de trabajo 3 y 4 y luego de 1' del ejercicio máximo, en tubos capilares para el análisis inmediato del lactato (analizador de lactato portátil, Accusport, Boehringer-Mannheim). En La paz, la presión barométrica media durante el estudio fue de 498 mmHg, con una temperatura media de 19º C y una humedad relativa de 35 %. En Santa Cruz, la presión barométrica media fue de 725 mmHg, con una temperatura media de 28º C y una humedad relativa de 80 %.

Mediciones en el Partido de Fútbol

9 de lo 20 participantes aceptaron usar monitores de la frecuencia cardiaca durante un partido de fútbol en los ambientes de evaluación (6 jugadores no aclimatados y 3 aclimatados). Los partidos eran partidos regulares de la liga de competición o eran partidos de exhibición. Antes de entrar a un partido, los jugadores eran equipados con un monitor de la frecuencia cardiaca Polar Vantage XL con la capacidad de grabar la frecuencia cardiaca cada 5''. Los jugadores fueron medidos solo durante la primera mitad del partido de fútbol. El monitor de la frecuencia cardiaca se dejaba hasta que el jugador sufriera una lesión, fuera sustituido, o hasta el final del primer tiempo.

Los datos de la frecuencia cardiaca fueron usados para estimar la tasa de gasto energético en el partido de fútbol (RFE) de la siguiente manera. La relación en estado estable VO_2-HR fue establecida en un ambiente dado para cada jugador a partir de los datos colectados en ejercicio submáximo durante las primeras 4 cargas en la bicicleta ergométrica. El VO_2 (l/min) fue convertido a gasto energético (EE) (Kcal/min) basándose en los equivalentes energéticos estándar para el consumo de O_2 a un nivel dado del RER (18). La relación EE-HR resultante fue usada como una curva estándar para estimar el gasto energético en el partido de fútbol por unidad de tiempo, a partir de las mediciones de frecuencia cardiaca durante el partido de fútbol. La validez general de esta aproximación ha sido demostrada previamente (19) y el método ha sido usado para estimar el gasto energético en jugadores de fútbol durante un partido (13). Debería ser destacado que la relación EE-HR establecida para cada jugador, fue específica para el ambiente en el cual era jugado el partido de fútbol. Por lo tanto, las mediciones de laboratorio de VO_2 y de frecuencia cardiaca durante el juego, se realizaron entre 24 horas una de la otra en el mismo ambiente. El RFE fue normalizado por el peso corporal (Kcal/min/kg), para tener en cuenta la relación entre la masa corporal y la tasa absoluta de EE. El RFE presentado aquí es el promedio del RFE por minuto durante un tiempo de juego de 20', ya que este fue el período de juego ininterrumpido más largo obtenido a partir de todos los participantes

Análisis Estadísticos

Para medir las diferencias en las respuestas del ejercicio entre los dos ambientes y entre los grupos de sujetos fueron

usados análisis de varianza (ANOVA) o covarianza (ANCOVA). La interacción entre el ambiente y el grupo de sujetos fue usada para testear diferencias entre el grupo de sujetos y el ambiente dado. Todos los análisis estadísticos fueron realizados con un Software estadístico Systat, versión 5.2 (Evasnton, IL). Un efecto era considerado significativo si la p<00.5, y muy significativo si la p<0.01. Todos los valores en las tablas y figuras son reportados como medias ± desvíos estándar.

RESULTADOS

Características de los sujetos

Los jugadores HA eran un poco más viejos y pesados que los jugadores LA (Tabla 1). Mientras que la talla y la masa magra no diferían entre los grupos estudiados, los jugadores HA tenían porcentajes de grasa corporal significativamente más altos, que contaban para las diferencias en el peso corporal. No había diferencias significativas entre los grupos de sujetos en las mediciones de la morfología del pecho o en la FVC que indicaran diferencias tanto en el desarrollo y/o en la exposición ancestral a grandes alturas (14). Los jugadores HA tenían niveles de hemoglobina significativamente más altos, lo que era consistente con una aclimatación completa a la gran altura (20).

Variable	No Aclimatados	Aclimatados
Edad (años)	22.3 ± 3.6*	27.4 ± 3.6
Hemoglobina (g/dL)	13.6 ± 2.7*	17.9 ± 1.8
Talla (cm)	172.6 ± 5.3	171.6 ± 5.4
Masa corporal (kg)	64.5 ± 6.0*	70.1 ± 6.0
Masa magra (kg)	55.3 ± 3.3	56.9 ± 4.8
Porcentaje de grasa corporal (%)	14.3 ± 3.0*	18.7 ± 3.0
Ancho del codo (cm)	6.7 ± 0.3	6.8 ± 0.3
Circunferencia del brazo (cm)	26.7 ± 1.7	28.0 ± 1.5
Circunferencia de la pantorrilla (cm)	36.0 ± 2.0	37.8 ± 2.1
Profundidad del pecho (anterio-posterior) (cm)	198.7 ± 14.0	205.2 ± 13.8
Ancho del pecho (lateral) (cm)	298.4 ± 13.0	292.1 ± 12.9
FVC (L/min-BTPS)	4.99 ± 0.56	5.44 ± 0.54

Tabla 1. *Características de los jugadores de fútbol aclimatados y no aclimatados.*
**Diferencias significativas comparado con los jugadores aclimatados (p<0.05)*
Ejercicio Máximo en Ciclo Ergómetro

Las variables de la repuesta al ejercicio máximo están presentadas en la Tabla 2. El pico de VO_2 fue significativamente más bajo para ambos grupos de jugadores HA y LA a gran altura comparado con baja altura. Además, los dos grupos de jugadores HA y LA tuvieron valores mas bajos de saturación arterial de oxígeno SaO_2, mayores Ve/VO_2 y valores más altos de RER en el ejercicio máximo a gran altura comparado con baja altura. Mientras que la concentración pico de lactato tendió a ser más alta y la frecuencia cardiaca máxima tendió a ser menor a gran altura, estas diferencias no alcanzaron significancia estadística. En un mismo ambiente (La Paz o Santa Cruz) no hubo diferencias significativas entre los jugadores HA y LA en las respuesta a las mediciones durante el ejercicio máximo. Sin embargo, comparados con los jugadores HA, los jugadores LA tuvieron una disminución mayor del pico de VO_2 desde baja a gran altura. Esta interacción significativa (entre el grupo de sujetos y el ambiente evaluado) es presentada en la Tabla 2 como la diferencia entre los grupos de sujetos en el porcentaje de cambio del pico de VO_2 desde baja a gran altura.

VO_2 (ml/kg/min)	RER	Lactato (mM)	HR (bpm)	SaO_2 (%)	V_E/VO_2	
No-aclimatados testeados en:						
LA (Santa Cruz)	52.65 (4.15)	1.13 (0.10)	11.07 (2.55)	178 (10)	83.78 (8.13)	36.76 (4.91)
HA (La Paz)	41.87** (4.17)	1.22** (0.10)	12.32 (2.69)	174 (10)	78.36** (7.36)	50.11** (4.91)
Aclimatados testeados en:						
LA (Santa Cruz)	49.85 (4.17)	1.15 (0.12)	10.82 (2.55)	170 (9)	88.89 (7.20)	40.04 (4.89)
HA (La Paz)	43.58** (4.17)	1.26** (0.09)	11.07 (2.55)	173 (9.00)	79.33** (7.35)	50.35** (4.89)
% Cambio desde La a Ha:						
No-aclimatados	20.4 (-)	8.00 (+)	11.30 (+)	2.70 (-)	6.50 (-)	36.30 (+)
Aclimatados	12.6* (-)	9.60 (+)	2.30 (+)	1.60 (+)	10.80 (-)	24.80 (+)

Tabla 2. *Variables de respuesta al ejercicio máximo para sujetos aclimatados y no aclimatados evaluados a gran altura (HA, La Paz, 3,600 m), y baja altura (LA, Santa Cruz, 420 m). La dirección del cambio desde el grupo LA al HA (incremento o disminución) es indicada como (+) o (-).*

*** = efecto intergrupo, donde la respuesta fue significativamente diferente de la observada a baja altura (LA), p<0.05.*

** = efecto intragrupo, donde la respuesta fue significativamente diferente de la observada en los jugadores no-aclimatados.*

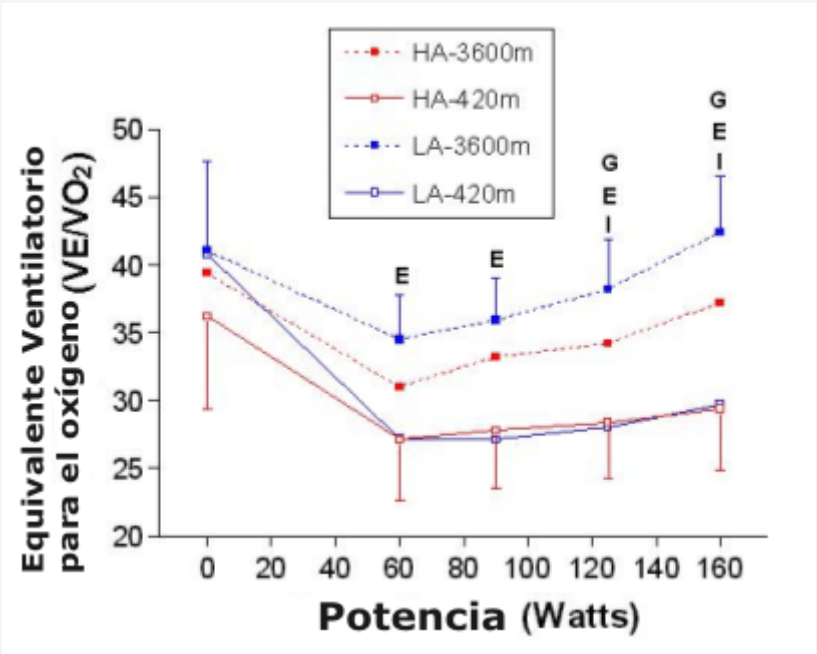


Figura 1. *Equivalente ventilatorio para el oxígeno (VE/VO_2) durante el ejercicio submáximo en ciclo ergómetro en jugadores de fútbol aclimatados (líneas rojas) y no aclimatados (líneas azules) evaluados a 3600 m (La Paz, Bolivia, líneas punteadas) y cerca del nivel del mar (Santa Cruz, Bolivia, líneas completas). Carga de trabajo 1 (~60 Watts), carga 2 (~92 Watts), carga 3 (~125 Watts), y carga 4 (~158 Watts). E = efecto significativo del ambiente (La Paz vs. Santa Cruz), G = efecto significativo del grupo de sujetos (aclimatados*

vs. no aclimatados), e I = interacción significativa entre el grupo de sujetos y el ambiente.

Respuestas al Ejercicio Submáximo

Las diferencias en la respuesta al ejercicio submáximo en el Ve/VO_2, SaO_2 y en la concentración sanguínea de lactato, fueron evaluadas en cada uno de los cuatro niveles de las diferentes cargas de trabajo en estado estable (Figuras 1-3). Aunque estos niveles de trabajo fueron dados a cargas externas de resistencia fijas en el cicloergómetro, la variabilidad en la frecuencia de pedaleo entre los sujetos causó una variabilidad en la potencia en estado estable en un intervalo de 1 minuto de duración de promedio. La potencia promedio de todos los grupos combinados a las intensidades de ejercicio 1-4, fue de 60±7, 92±10, 125±15, 158±17 watts, respectivamente. Las tasas de VO_2 promedio a las intensidades de ejercicio 1-4 fueron 1.10±0.11, 1.45±0.17, 1.78±0.19, and 2.15±0.23 l/min, respectivamente. Fueron aparentes pequeñas diferencias significativas en la potencia y el VO_2 entre los grupos, pero no hubo un patrón consistente en las mismas. De manera importante, las diferencias de grupo en el VO_2 desaparecieron cuando fueron ajustadas por el análisis de covarianza para la tasa de trabajo. Por esta razón, las mediciones submáximas de Ve/VO_2, SaO_2 y concentración arterial de lactato fueron testeadas con ANCOVA, y controladas para la tasa de trabajo (Watts). Así, los valores presentados en las Figuras 1-3 son valores medios ajustados. La covarianza de la tasa de trabajo fue un factor significativo en todos los modelos testeados. Este procedimiento tiene un pequeño efecto cuantitativo y ningún efecto cualitativo sobre los valores medios de los grupos, pero es considerado la forma correcta de expresar estos datos. El Ve/VO_2 fue más alto para ambos grupos de jugadores HA y LA a gran altura comparado con baja altura (Fig. 1). Mientras que el Ve/VO_2 fue similar entre grupos de sujetos en reposo y en todos los niveles de trabajo a gran altura. Las diferencias de grupo en el Ve/VO_2 fueron aparentes a baja altura. Fueron detectados dos efectos significativos de grupo e interacciones de grupo con el ambiente a intensidades 3 y 4, reveleando Ve/VO_2 mayores en los jugadortes LA evaluados a baja altura vs. los jugadores HA. La SaO_2 fue más baja durante el ejercicio submáximo a baja altura comparado con gran altura para los dos grupos de jugadores HA y LA (Figura 2). Los jugadores LA tenían menores SaO_2 en los dos ambientes comparados con los jugadores HA. Mientras que los jugadores LA tendieron a mostrar SaO_2 desproporcionalmente bajas a gran altura vs. baja altura comparado con los jugadores HA (especialmente a la intensidad de ejercicio 4), esta interacción no alcanzó significancia estadística.

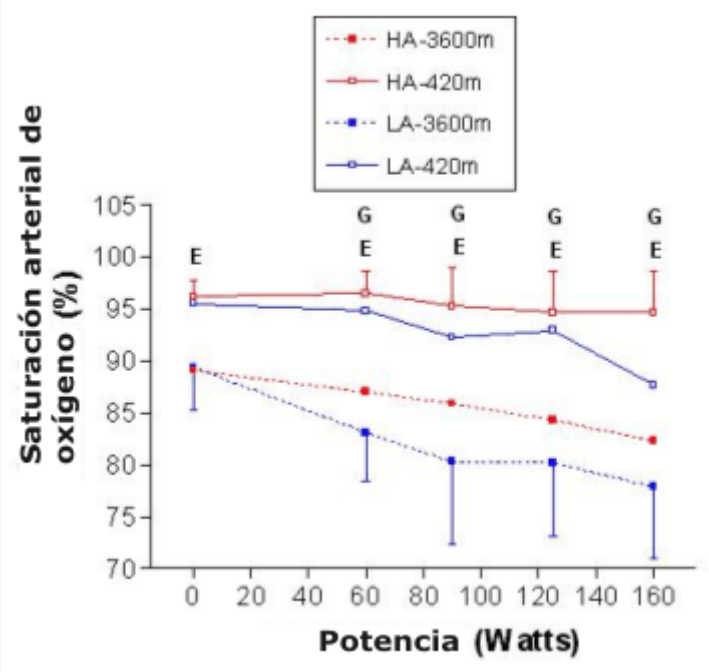


Figura 2. *Saturación arterial de oxígeno (%) medida mediante un contador de oxígeno durante el ejercicio en ciclo ergómetro en jugadores de fútbol aclimatados (líneas rojas) y no aclimatados (líneas azules) evaluados a 3600 m (La Paz, Bolivia, líneas punteadas) y cerca del nivel del mar (Santa Cruz, Bolivia, líneas completas). Nivel de trabajo 1 (~60 Watts), nivel 2 (~92 Watts), nivel 3 (~125 Watts), nivel 4 (~158 Watts). E = Efecto significativo del ambiente (La Paz vs. Santa Cruz), G = Efecto significativo de los grupos de sujetos (aclimatados vs. no aclimatados).*

La concentración de lactato se incremento con el aumento de la potencia en todos los sujetos (Figura 3). Mientras que no

hubo ninguna diferencia entre los grupos de sujetos o entre las alturas en los niveles de lactato en reposo, las diferencias entre los grupos se hicieron aparentes con el incremento de la intensidad del ejercicio. Los jugadores LA tenían niveles de lactato más altos en los dos ambientes. La interacción no fue significativa a la intensidad de ejercicio 4, es claro que la mayor parte del efecto del grupo a esta intensidad se dio debido a los niveles desproporcionadamente más altos exhibidos por los jugadores LA cuando fueron evaluados a gran altura.

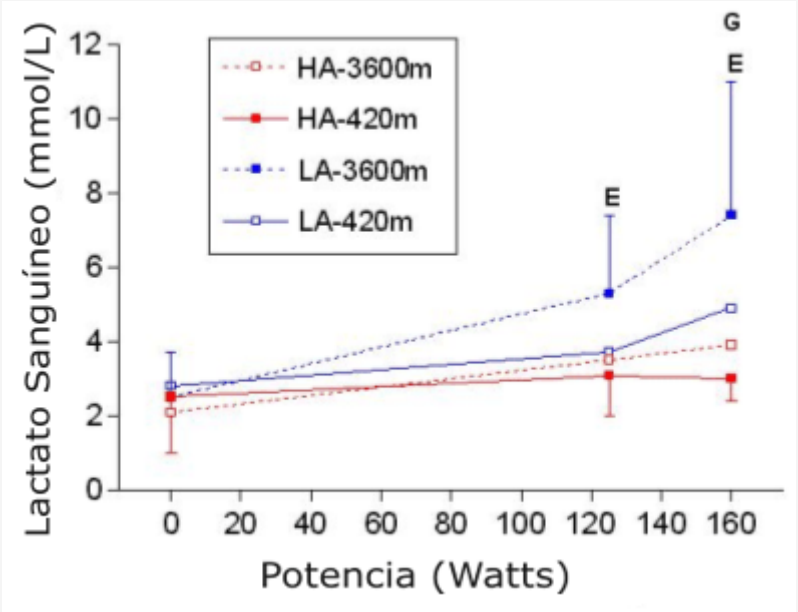


Figura 3. *Concentración sanguínea de lactato (mM) durante el ejercicio en el ciclo ergómetro en jugadores de fútbol aclimatados (líneas rojas) y no aclimatados (líneas azules) evaluados a 3600 m (La Paz, Bolivia, líneas punteadas) y cerca del nivel del mar (Santa Cruz, Bolivia, líneas completas). Nivel de trabajo 1 (~60 Watts), nivel 2 (~92 Watts), nivel 3 (~125 Watts), nivel 4 (~158 Watts). E = Efecto significativo del ambiente (La Paz vs. Santa Cruz), G = Efecto significativo de los grupos de sujetos (aclimatados vs. no aclimatados).*

Tasa de Gasto Energético durante un Partido de Fútbol

El RFE y el pico de VO_2 están presentados en la Tabla 3 para el grupo de jugadores de fútbol durante los partidos en los dos ambientes. El tamaño de la muestra es insuficiente para medir diferencias en el grupo de sujetos o efectos de la interacción del grupo con el ambiente. Todos los jugadores mostraron una disminución significativa en el RFE y el pico de VO_2 cuando fueron evaluados a gran altura comparado con baja altura. Mientras que la disminución relativa fue igual para el pico de VO_2 y el RFE, no hubo ninguna correlación significativa entre el cambio en el RFE y el cambio en el pico de VO_2 con la exposición a gran altura.

	RFMEE (kcal/kg/min)		Pico de VO_2 (kcal/kg/min)	
ID del Sujeto	La Paz	Santa Cruz	La Paz	Santa Curz
111 Aclim.	0.233	0.293	46.7	49.7
113 Aclim.	0.205	0.209	41.3	42.8
114 Aclim.	0.211	0.271	49.6	49.8
302 No-aclim.	0.124	0.169	46.7	49.4
303 No-aclim.	0.189	0.203	46.1	55.3
305 No-aclim.	0.196	0.197	41.9	55.0
307 No-aclim.	0.179	0.199	38.9	61.0
312 No-aclim.	0.177	0.231	41.6	55.0
314 No-aclim.	0.172	0.228	44.1	54.0
media	0.187±0.03	0.222±0.399	44.1±3.3	52.4±5.1
% cambio de LA a HA	16%		16%	

Tabla 3. *Tasa de gasto energético durante el partido de fútbol (RFMEE) en La Paz (3,600 m) and Santa Cruz (420 m), para el subgrupo de 9 futbolistas (Aclimatados + Aclim., y no aclimatados = No aclima.)*

DISCUSIÓN

El presente estudio provee datos de la respuesta al ejercicio de jugadores de fútbol adaptados y no adaptados a la altura en Bolivia, donde fueron estudiados a gran y a baja altura. El diseño del estudio con entrecruzamiento y el hecho de que los jugadores de fútbol fueran profesionales, hizo que este estudio sea único, con posibles relevancias a la cuestión de una ventaja o desventaja durante los partidos jugados a gran altura, por parte de los equipos que difieren en su estado de aclimatación. Sin embargo, como fue discutido por Bangsbo (13), el rendimiento durante un partido de fútbol es un asunto complejo que depende de factores técnicos, tácticos, fisiológicos y psico/sociales. Debido a que este estudio presenta solo un pequeño rango de mediciones fisiológicas, no puede ser establecida la complejidad total de este hecho.

Los dos grupos de jugadores HA y LA mostraron una disminución significativa en el pico de consumo de oxígeno (pico de VO_2) a gran altura. Esto es consistente con muchos estudios anteriores (1-4). Además todos los jugadores evaluados mostraron una disminución en el RFE estimado a lo largo de los 20’ de la primera mitad del partido.

Los estudios de movimiento por tiempo, han sido usados en el pasado para demostrar disminuciones significativas en el nivel de actividad física (y presumiblemente del EE) cerca del final de un partido de fútbol, relacionando esto a la fatiga del jugador (21, 22). En este estudio nosotros usamos una técnica de monitoreo de la frecuencia cardiaca, similar a aquella aplicada a un estudio previo de rendimiento en un partido de fútbol (13), que debería dar una mejor estimación del EE, de la que es posible con un estudio de movimiento por tiempo. Sin embargo, el RFE estimado en este estudio estuvo basado en una curva HR-VO_2 establecida a partir de una evaluación en ciclo ergómetro y no en una cinta ergómetro. Claramente, el ejercicio en la cintaergómetro se aproxima más cercanamente a la actividad de un partido de fútbol. A pesar de esto, la estimación parece tener una validez para establecer comparaciones de EE entre ambientes. Mientras que no fue medido el EE total, la disminución significativa en el RFE no fue consistente con la disminución en conjunto de la capacidad de trabajo físico experimentada a gran altura. La disminución observada es también consistente con los estudios de

movimiento por tiempo que demostraron una disminución de la actividad física durante los partidos de fútbol jugados en el calor y a altura moderada durante la Copa del Mundo de México 1986 (23, 24).

Estudios previos han demostrado una correlación significativa entre la máxima captación de oxígeno y ambas, la distancia de carrera cubierta durante un partido (25, 26) y el número de sprints realizados por un jugador (26). Tales hallazgos tienen implicaciones para el rendimiento en un partido de fútbol a gran altura, donde es esperada una gran disminución de la capacidad aeróbica para todos los jugadores de fútbol, ya sea estén aclimatados o no. Lo que permanece dificultoso de cuantificar, por supuesto, es la ventaja relativa de jugar a gran altura en un estado aclimatado vs. un estado no aclimatado. La disminución del pico de VO_2 fue grande para los dos grupos, pero fue claramente más grande en los jugadores no aclimatados (~20% versus ~13%). Mientras que la diferencia entre los grupos respecto a esto, es pequeña, comparada al efecto en conjunto de la gran altura, sobre la capacidad aeróbica, esta diferencia puede ser importante para el rendimiento del partido de fútbol. Considerando un estudio reciente que realizó una intervención con entrenamiento en jugadores de fútbol de elite noruegos (27). El mismo demostró, que un incremento de un 10 % en el máximo consumo de oxígeno estaba correlacionado con un incremento de un 20 % en la distancia cubierta en un partido, con un 100 % de incremento en el número de sprints realizados durante el partido, y con un 23 % de aumento en la cantidad de tiempo que cada jugador estaba implicado con la pelota (27). Mientras que los efectos de este estudio pueden estar confundidos por la motivación incrementada de los jugadores luego del entrenamiento, el gran efecto observado sobre el rendimiento del partido podría implicar ciertamente una desventaja de jugar a gran altura, antes de que una aclimatación total sea lograda. El hecho de la ventaja o desventaja, no puede ser totalmente determinado antes de que los estudios se hayan conducido a observar el tiempo de adaptación y el rendimiento en el juego de futbolistas no aclimatados, a gran altura. En el presente estudio nosotros observamos a jugadores no aclimatados, dentro de las 48 horas del arribo a gran altura. Debido a que todos estos jugadores fueron evaluados esencialmente al mismo tiempo, no fue posible medir el efecto de la aclimatación continua sobre el ejercicio y el rendimiento en juego.

Los jugadores LA acumularon también más lactato sanguíneo durante el trabajo submáximo a gran altura, tuvieron valores más bajos de SaO_2, y ventilaron más por unidad de oxígeno consumido, de lo que lo hicieron los jugadores HA. Los datos de la ventilación son particularmente interesantes ya que los jugadores LA tuvieron valores de SaO_2 más bajos a pesar de tener valores más altos de ventilación pulmonar durante el ejercicio. Esto indica una ineficiencia del intercambio pulmonar de gases en el estado no aclimatado, posiblemente debido a la desigualdad de la ventilación/perfusión o a limitaciones de la perfusión (28). Los datos del lactato, que mostraron niveles más bajos de acumulación de lactato en los jugadores HA, aún a baja altura, pueden indicar una paradoja del lactato sostenida por los sujetos aclimatados cuando estos son llevados a baja altura. Matheson et al. (29) reportó resultados similares en el lactato, en sujetos nativos de grandes alturas evaluados a baja altura.

Todas las diferencias en las respuestas en los estados no aclimatados versus aclimatados son consistentes con estudios de aclimatación, que muestran mejoras en el pico de VO_2 y SaO_2 y disminución de la ventilación en ejercicio (30), así como una disminución en el nivel de lactato sanguíneo para una carga dada absoluta de trabajo (31). Sin embargo, debe ser destacado que los incrementos en el pico de VO_2 con al aclimatación a gran altura son generalmente muy pequeños (30). Así, es difícil hacer una hipótesis sobre las desventajas para el rendimiento en estado no aclimatado, con solo la medición de la capacidad aeróbica. Debe ser también considerado que otros factores pueden explicar la mayor disminución del pico de VO_2, observado a gran altura en los jugadores LA. Muchos estudios han demostrado que los individuos con un gran pico de VO_2 al nivel del mar tienen una gran disminución del mismo, cuando son evaluados a gran altura (32). En este estudio los jugadores LA empezaron con un pequeño, pero mayor pico de VO_2 medido cerca del nivel del mar comparado con los jugadores HA. No está claro cual fue la causa, pero quizás los jugadores LA eran más capaces de lograr un efecto del entrenamiento aeróbico durante el entrenamiento a baja altura. Una interpretación como esta provee poco apoyo a la hipótesis de una desventaja en el estado no aclimatado.

El pico de VO_2 medido a baja altura en la muestra de jugadores profesionales del Fútbol Boliviano (media de los dos equipos a baja altura = 51,2 ml/kg/min) fue más bajo que el medido previamente en jugadores de alto nivel de otros países, que variaron entre 56 y 69 ml/kg/min (13, 33). Una razón para está diferencia puede ser debido a que el pico de VO_2 fue medido en cicloergómetro, el cual no es una modalidad común de ejercicio para jugadores profesionales. Las mediciones de pico de VO_2 en cicloergómetro son generalmente un ≈ 5 % más bajas, de aquellas alcanzadas en cintaergómetro, especialmente para corredores (34). Además, nuestro protocolo de ejercicio era bastante largo en orden de asegurar un consumo de oxígeno estable durante las primeras cuatro cargas de trabajo. Los sujetos se quejaron frecuentemente de fatiga muscular local para señalar el final de la evaluación, y los datos mostraron que muchos jugadores no alcanzaron un VO_2 máximo verdadero, basándose en el criterio de meseta del VO_2 o de la máxima frecuencia cardiaca dentro del 5 % de la frecuencia cardiaca máxima predecida por la edad. Esto explica nuestra elección del término pico de VO_2 más que VO_2 máximo. A pesar de este problema, las comparaciones de pico de VO_2 entre equipos y entre ambientes son validas dado a la naturaleza apareada del diseño del estudio.

CONCLUSIONES

El pico de VO_2 y el RFE disminuyeron significativamente a 3600 m vs. 420 m en ambos grupos de jugadores profesionales del Fútbol Boliviano. Los dos tipos de jugadores también mostraron respuestas fisiológicas durante el ejercicio, consistentes con los estímulos incrementados de ejercicio en un ambiente hipóxico, incluyendo menores valores de SaO_2 y mayores valores de Ve/VO_2. Sin embargo, los jugadores LA demostraron una mayor disminución en el pico de VO_2, mayores niveles de lactato sanguíneo y menores valores de SaO_2 a gran altura comparado con los jugadores HA. Así, mientras que el estímulo de jugar al fútbol a gran altura es universal, afecto a los dos grupos de jugadores, aclimatados y no aclimatados. Los resultados de este estudio sugieren que los jugadores no aclimatados están en desventaja comparados con los jugadores aclimatados. Desafortunadamente, nosotros fuimos incapaces de evaluar directamente está hipótesis con una medición del rendimiento en un partido de fútbol, debido a las limitaciones del tamaño de la muestra en la medición del RFE.

Agradecimientos: Nos gustaría agradecer a los jugadores, técnicos y entrenadores del Strongest, Blooming, Oriente Petrolero, y a los jugadores del Seleccionado Nacional Boliviano por su participación en este estudio. Nos gustaría también agradecer a la Federación Boliviana de Fútbol, por su apoyo durante el proyecto. Los individuos que ayudaron en este proyecto incluyen al Dr. Jorge R. Flores, Liga Del Fútbol Profesional Boliviano, Dr. Alberto Gianella, CENETROP, Santa Cruz, Bolivia, Dr. Virginina Vitzthum, University of California, Riverside, and Dr. Jere D. Haas, Cornell University, Ithaca, NY.

Dirección para correspondencia: Tom Brutsaert, Ph.D. Dep. of Anthropology, Uninersity at Albany, UNY, Albany, NY 12222, E-mail: tbrutsae@csc.albany.edu, Telefono: (518) 442-7769, FAX: (518) 442-5710.

REFERENCIAS

1. Balke B (1964). Work capacity and its limiting factors at high altitude. *In: The Physiological Effects of High Altitude. W.H. Weihe (Ed.). New York: Macmillan, 233-240*
2. Dill D B, Myhre L G, Brown D K, Burrus K, and G Gehlsen (1966). Work capacity in acute exposures to altitude. *J Appl Physiol; 21:1168*
3. Kollias J, and Buskirk ER (1974). Exercise and altitude. *In: Science and Medicine of Exercise and Sport, Second Edition. W.R. Johnson and E.R. Buskirk (Eds.). New York: Harper and Row, Inc., 211-227*
4. Pugh LGCE, Gill MB, Lahiri S, Milledge JS, Ward MP, and JB West (1964). Muscular exercise at great altitudes. *J Appl Physiol; 19:431-440*
5. Dejours P, Kellog RH, and N Pace (1963). Regulations of respiration and heart rate response in exercise during altitude acclimatization. *J Appl Physiol; 18:10-18*
6. Hermansen L, and B. Saltin (1967). Blood lactate concentration during exercise at acute exposure to altitude. *In: Exercise at altitude, edited by R. Margaria. New York: Excerpta Medica Foundation, 48-53*
7. Jones NL, Robertson DG, Kane JW, and RA Hart (1972). Effect of hypoxia on free fattty acid metabolism during exercise. *J Appl Physiol; 33:733-738*
8. Bubb WJ, Howley ET, and RH (1983). Effects of various levels of hypoxia on plasma catecholamines at rest and during exercise. *Aviat Space Environ Medicine; 54(7): 637-640*
9. Flenley DC (1975). Arterial catecholamines in hypoxic exercise in man. *Clin Sci and Mol Med; 49:503-506*
10. Hackett PH, Rennie D, and HD Levine (1976). The incidence, importance and prophylaxis of acute mountain sickness. *Lancet; ii:1149-1154*
11. Maresh CM, Deschenes MR, Seip RL, Armestron LE, Robertson KL, and BJ Noble (1993). Perceived exertion during hypobaric hypoxia in low- and moderate-altitude natives. *Med Sci Sports Exerc; 25 (8): 945-951*
12. Bangsbo, J (1993). The Physiology of Football. *HO+ Storm, Copenhagen*
13. Brutsaert TD, Soria R, Caceres E, Spielvogel H, and Haas JD (1999). Effect of developmental and ancestral high altitude exposure on chest morphology and pulmonary function in Andean and European/North American natives. *Am J Hum Bio; 11: 383-395*
14. Huang SY, Alexander JK, Grover RF, Maher JT, McCullough RE, McCullough RG, Moore LG, Sampson JB, Weil JV, and JT.Reeves (1984). Hypocapnia and sustained hypoxia blunt ventilation on arrival at high altitude. *J Appl Physiol; 56:602-606*
15. Durnin JVGA, and J Womersley (1974). Body fat assessed from total body density and its estimation from skin fold thickness: measurements on 481 men and women aged 16 to 72 years. *Br J Nutr; 32:77-79*
16. Siri WE (1961). Body composition from fluid spaces and density: analysis of methods. *In: Brozek J., Henschel A (eds). Techniques for measuring body composition. Washington D.C. National Academy of Sciences. 223-44*
17. Wasserman K, Hansen JE, Darryl SY, and BJ Whipp (1987). Principles of exercise testing and interpretation. *Philadelphia: Lea and Febinger*

18. Spurr GB, Prentice AM, Murgatroyd PR, Goldberg GR, Reina JC, and NT Christman (1988). Energy expenditure from minute by minute heart rate recording: comparison with indirect calorimetry. *Am J Clin Nutr; 48: 552-559*
19. Ward MP, Milledge JS, and West JB (1989). High Altitude Medicine and Physiology. *University of Pennsylvania Press. Philadelphia*
20. Reilly T, and V Thomas (1976). A motion analysis of work rate in different positional roles in professional football match-play. *J Hum Mov Stud; 2: 87-97*
21. Von Gool D, Van Gerven D, and J Boutmans (1988). The physiological load imposed on football players during real match play. *In: Reilly, T., Lees, A., Davids, K., and W.J. Murphy (eds). Science and Football, pp 51-59. E. & F.N. Spon, London/New York*
22. Ekblom, B (1986). Applied Physiology of Football. *Sports Med; 3: 50-60*
23. Van Meerbeck RD, Van Gool D, Bollens J (1988). Analysis of the refereeing decisions during the World Cup football championships in 1986 in Mexico. *In: Science and Football, T. Reilly, A. Lees, K. Davids, and W.J. Murphy (Eds). London: E. and F.N. Spon Ltd., 368-372*
24. Bangsbo, J (1994). Physiological demands. *In: Football (soccer). B. Ekblom (Ed.). London: Blackwell Scientific, pp. 43-59*
25. Smaros, G (1980). Energy usage during a football match. *In: Proceedings of the 1st International Congress on Sports Medicine Applied to Football. L. Vecchiet (Ed.). Rome, 980, pp. 795-801*
26. Helgerud J, Christian-Engen L, Wisloff U, and J Hoff (1990). Aerobic endurance improves soccer performance. *Med. Sci. Sport Exer; Manuscript in Review*
27. Gale GE, Torre-Bueno J, Moon RE, Saltzman HA, and PD Wagner (1985). Ventilation-perfusion inequality in normal humans during exercise at sea level and simulated altitude. *J. Appl. Physiol; 58: 978-988*
28. Matheson GO, Allen PS, Ellinger DC, Hanstock CC, Gheorghiu D, McKenzie DC, Stanley C, Parkhouse WS, and PW Hochachka (1991). A 31P-NMR study of Andean natives and lowlanders. *J. Appl. Physiol; 70 (5): 1963-1976*
29. Bender PR, McCullough RE, McCullough RG, Huang SY, Wagner PD, Cymerman A, Hamilton AJ, and Reeves JT (1989). Increased exercise SaO2 independent of ventilatory acclimatization at 4,300 m. *J Appl Physiol; 66: 2733-2738*
30. Bender PR, Groves BM, McCullough RE, McCullough RG, Trad L, Young A, Cymerman A, and JT Reeves (1989). Decreased exercise muscle lactate release after high altitude acclimatization. *J Appl Physiol; 67 (4): 1456-1462*
31. Robergs RA, Quitana R, Parker DL, Christopher CF (1998). Multiple variables explain the variability in the decrement in VO2max during acute hypobaric hypoxia. *Med Sci Sport Exerc; 30 (6): 869-879*
32. Agnevik, G (1970). Fotboll, Idrottsfysiologi. *Rapport no. 7, Trygg-Hansa, Stockholm*
33. Astrand PO., and B Saltin (1961). Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *J Appl Physiol; 16: 977*

Cita Original

Tom D. Brutsaert, Hilde Spielvoegel, Rudy Soria, Mauricio Araoz, Esperanza Cáceres Giliane Buzenet, Mercedes Villena, Mariano Paz-Zamora y Enrique Vargas. Perfomance of altitude acclimatized and non-aclimatized profesional footbal (soccer) players at 3,600 m. Jeponline, Vol 3, No 2, 2000.