

## FÚTBOL Y ACLIMATACIÓN A LA ALTURA

Fabiola León Velarde<sup>1</sup>, Manuel Vargas G<sup>1</sup>, María Rivera Ch.<sup>1</sup> y

Carlos Monge C<sup>1</sup>

### RESUMEN

Es posible establecer una diferencia fisiológica apriori entre los sujetos tolerantes y los poco tolerantes a la altura, así como la mayor capacidad de aclimatación a la altura en un tiempo menor, de algunas personas con respecto a otras. Los sujetos poco tolerantes a la altura presentan sólo un moderado aumento de su ventilación (baja PETCO<sub>2</sub>), su frecuencia cardíaca (FC) en reposo es más elevada, y presentan una disminución importante en la saturación de oxígeno en la sangre. Con el fin de evaluar el grado de tolerancia y la velocidad de aclimatación a la altura en futbolistas, se aplicó el test de intolerancia a la altura, modificado para trabajo en campo. Este comprendió la medida de: PETCO<sub>2</sub>, presión tidal de CO<sub>2</sub> (torr); la PETO<sub>2</sub>, presión tidal de O<sub>2</sub> (torr);  $\Delta$  sat, delta de saturación de oxígeno (%); el  $\Delta$  FC, delta de frecuencia cardíaca (lat/min); la RV, respuesta ventilatoria (L/min/%/peso) y la RC, respuesta circulatoria (lat/min%). Estas medidas se realizaron en 4 situaciones, tanto en altura como a nivel del mar: 1. A nivel del mar, en reposo. 2. A nivel del mar, en ejercicio (carrera y pique) con esfuerzo del 50% máximo. 3. En altura (3400m), en reposo (días 1,3, y 7 en altura). 4. En altura, en ejercicio (días 2 y 5 en altura). El puntaje general de aclimatación (PGA), se generó a partir de la sumatoria de los deltas de los indicadores medidos en la altura, con respecto a nivel del mar. Estos se ordenaron en un rango de 1 a 4, correspondiendo a 4 la mejor respuesta adaptativa, y 1 la menos adecuada. No se observaron cambios estadísticamente significativos en ninguno de los indicadores estudiados, en reposo (entre los días 1,3, y 7 en altura), ni en ejercicio (en los días 2 y 5 en altura) en forma individual. Sin embargo el PGA, mostró una diferencia significativa entre los días 2 y 5 en la altura. En el día 2, el PGA individual, luego de ejercicio mostró un perfil exponencial i.e., algunos jugadores se diferenciaron claramente en su capacidad para aclimatarse a la altura, con respecto a otros. En el día 5, el PGA mostró un perfil más bien recto, sugiriendo que la diferencias entre los mas aclimatados y los menos se hicieron menores. Es esta etapa, sólo dos jugadores se mantuvieron muy diferenciados. Aún los menos

aclimatados llegaron a sólo 6 y 7 puntos de los más aclimatados. Se concluye que, siendo la aclimatación un proceso continuo, los cambios a nivel respiratorio y cardiovascular ocurre durante los primeros días, produciéndose a partir del día 7 una estabilización del proceso de aclimatación.

### ABSTRACT

It is possible to establish the a priori physiological differences between the tolerant and less tolerant subjects to high altitude. Also the capacity of acclimatization among subjects. The less tolerant subjects present a limited ventilation increase (low PETCO<sub>2</sub>), the resting cardiac rate (CF) is elevated and the arterial oxygen saturation is much lower. To evaluate the degree of intolerance and the acclimatization velocity in football players, a test of intolerance to high altitude was applied and adapted to field-work. This was based on the measure of tidal CO<sub>2</sub> pressure in torr (PETCO<sub>2</sub>), tidal O<sub>2</sub> pressure (PETO<sub>2</sub>) in torr, delta O<sub>2</sub> saturation (%) delta CF/min (5), the ventilatory response, (VR, in l/min/%/weight), the circulatory response (CR, in beats/min). These measurements were carried out at sea level and at high altitude: 1. Sea level at rest. 2. Sea level after exercise running at 50% maximum effort. 3. At 3400 m at rest (days 1,3 and 7 at altitude). 4. At altitude after exercise (days 2 and 5 at altitude). The score for fitness was obtained from the sum of the deltas obtained at altitude divided by the sum of deltas at sea level. A numerical score from 1 to 4 was assigned, being 4 the best adaptive response and 1 the worst. No statistical difference was found between sea level and high altitude indicators among individuals at rest during days 1, 3 and 7 of altitude exposure or during exercise on days 2 and 5 of altitude exposure. However, the individual scores showed a significant difference between days 2 and 5. At day 2 the individual scores showed a variable response but at day 5 this variability diminished indicating that most players had reached a similar degree of acclimatization. Only 2 could be differentiated. It is concluded that being the acclimatization process a continuous function, by day 7 the process reached stability.

**PALABRAS CLAVE:** Hipoxia, aclimatación, fútbol

**Dirección para la correspondencia:** Dra. Fabiola León Velarde, Departamento de Ciencias Fisiológicas, Facultad de Ciencias y Filosofía, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Apartado 4314, Lima 100, Perú. FAX: 51 - 14 - 817939

<sup>1</sup> Laboratorio de Transporte de Oxígeno, Departamento de Ciencias Fisiológicas, Facultad de Ciencias y Filosofía e Instituto de Investigaciones de la Altura, Universidad Peruana Cayetano Heredia, Apartado 4314, Lima 100, Perú.



## INTRODUCCIÓN

Los países andinos han logrado ocupar posiciones destacadas en el contexto futbolístico sudamericano y ocasionalmente en el ámbito internacional. En esos países existen campos deportivos a considerables alturas sobre el nivel del mar, que imponen un desafío físico a los futbolistas de esa región pero más aún a los de nivel del mar que se ven obligados a jugar sin estar aclimatados a la altura. Es evidente que en situaciones de hipoxia un atleta se encontrará en desventaja en comparación con su capacidad aeróbica a nivel del mar (1). Países como Perú, Bolivia, Ecuador, Colombia, México, etc., confrontan esta realidad y no obstante el creciente interés de millones de personas por los diferentes rendimientos futbolísticos, no existen estudios que permitan evaluar las respuestas fisiológicas de los jugadores de nivel del mar que ascienden a ciudades de altura así como tampoco de aquellos que viviendo en estas descienden a las de nivel del mar. Recientemente se han publicado una serie de estudios que demuestran las ventajas de vivir en altitudes elevadas y entrenar en lugares de altitud baja o de nivel del mar (2,3,4,5). Levine y Stray-Gundersen han demostrado que una permanencia de 4 semanas en altitudes elevadas (2,500 m) con entrenamientos en altitudes bajas (1,250 m), "living high-training low", mejora el rendimiento a nivel del mar de corredores bien entrenados en comparación a los equivalentes controles sólo de nivel del mar o sólo de altura (6).

La hipoxia de altura se acompaña de hipocápnica y de alcalosis respiratoria. La alcalosis se compensa en 2 a 3 días por el aumento de la eliminación de bicarbonato. La hipocápnica y la alcalosis inhiben los quimiorreceptores centrales a través de la modificación del equilibrio ácido-base del líquido céfalo-raquídeo. Este fenómeno limita la hiperventilación. La compensación progresiva de la alcalosis está asociada a un aumento de la respuesta ventilatoria al anhídrido carbónico ( $\text{CO}_2$ ), esto permite, luego de bloqueada la inhibición central, un aumento progresivo de la ventilación en el curso de los primeros días (3 a 5 días); se trata de la aclimatación ventilatoria (7). La difusión alveolo-capilar constituye un factor limitante para el transporte de oxígeno en la altura, en particular cuando se realiza ejercicio muscular (8). Esto se comprueba por la disminución de la saturación arterial de  $\text{O}_2$  ( $\text{SaO}_2$ ) que es evidente en ejercicio (9). Sin embargo, cabe señalar que la  $\text{SaO}_2$  al ejercicio aumenta progresivamente con la aclimatación, independientemente de la ventilación. La actividad del sistema simpático aumenta en hipoxia con el consecuente incremento de las concentraciones plasmáticas de noradrenalina y adrenalina. Esto trae como resultado un aumento de la frecuencia cardíaca, tanto en reposo como en ejercicio. Sin embargo, la frecuencia cardíaca máxima comienza a disminuir a las 48 horas de exposición a la altura y a partir de los 3,500 m, lo que puede constituir un factor limitante para el transporte de oxígeno durante un ejercicio intenso en la altura (10,11,12). La frecuencia cardíaca es uno de los determinantes principales del consumo de oxígeno del miocardio, una hipoxia severa podría ser incompatible

con el aporte de oxígeno necesario para llegar a una taquicardia intensa (13).

En el presente estudio se evalúa la respuesta cardiorrespiratoria, y la capacidad de aclimatación a la hipoxia, de una selección de fútbol que reside habitualmente a nivel del mar y que se sometió a un período de aclimatación a 3,400 msnm (Cusco, Perú) por un lapso de 7 días. Los resultados obtenidos en este grupo son comparados con los de una selección de fútbol que reside a 3,400 m.

## MATERIAL Y MÉTODOS

### DETECCIÓN DE INTOLERANCIA A LA ALTURA

Richalet (14, 15) ha desarrollado una prueba (Test de tolerancia a la hipoxia) capaz de predecir la intolerancia a la altura con una aproximación de alrededor de 85 % de confiabilidad (valor predictivo positivo). El test se basa en establecer una diferencia fisiológica entre los sujetos con intolerancia a la altura y los que presentan una tolerancia adecuada. Los sujetos que reaccionan mal a la altura respiran más rápido y más superficialmente que los otros, su frecuencia cardíaca de reposo es más elevada, y presentan una disminución marcada de la  $\text{SaO}_2$  en ejercicio. La intensidad de la respuesta cardiorrespiratoria presenta una variación individual considerable, y tiene un carácter hereditario (16,17).

El Test de Tolerancia a la Hipoxia fue adaptado a las condiciones necesarias al trabajo en terreno, respetando el programa de entrenamiento de los jugadores. El número de integrantes de la selección de fútbol del Perú, que participaron en el estudio fue de 20.

El Test de Tolerancia a la Hipoxia comprende la determinación de los siguientes indicadores:

Dsat	= $\Delta$ de saturación de oxígeno (%)
FR	= Frecuencia respiratoria (resp/min)
DVe	= $\Delta$ de ventilación (l/min/peso)
DFC	= $\Delta$ de frecuencia cardíaca (lat/min)
RV	= Respuesta ventilatoria ( $\text{L/min}/\Delta$ de Sat/Kg)
RC	= Respuesta circulatoria ( $\text{lat/min}/\Delta$ de Sat.)

En la altura las determinaciones se llevaron a cabo en reposo en los días 1, 3 y 7, y en ejercicio en los días 2 y 5 de la llegada a 3,400 m. Estas determinaciones se realizaron en 4 situaciones:

1) A nivel del mar, en reposo. 2) A nivel del mar, en ejercicio (carrera y pique) con un esfuerzo al 50 % del máximo. 3) En altura (3,400 m), en reposo. 4) En altura (3,400 m) en ejercicio (carrera y pique) con un esfuerzo 50% del máximo.

Debido a que la ventilación fue difícil de medir debido a las dificultades técnicas para su determinación en condiciones de ejercicio en terreno, se utilizó la presión tidal de  $\text{CO}_2$  ( $\text{PETCO}_2$ ) como indicador de la magnitud de la ventilación. En condiciones de reposo la ventilación fue



utilizada en la comparación entre la selección de Lima (RNM) y la selección de altura (RA), cuyos jugadores eran nativos de altura (n=4) o residían en ella por un tiempo no menor de 8 meses (n=8).

Para la determinación de la PETCO<sub>2</sub> y de la PETO<sub>2</sub> se utilizó un Oxicapnógrafo (Normocap-Datex) que toma la muestra de aire del interior de una fosa nasal por medio de un cateter de polietileno de 2 mm de diámetro. En condiciones de reposo se tuvo especial cuidado que el cociente respiratorio no fuera menor de 0.75 ni mayor de 0.9. La SaO<sub>2</sub> y la frecuencia cardíaca (FC) se midieron con un oxímetro de pulso de dedo (Nellcor) de manera continua.

A partir de la sumatoria de los indicadores del test de tolerancia a la hipoxia, se generó un puntaje general de aclimatación (PGA). Los indicadores se ordenaron por rangos con valores de 1 a 4,

correspondiendo a 4 la mejor respuesta aclimatativa del indicador en cuestión y a la respuesta menos adecuada.

ANÁLISIS

Los valores están expresados en promedios (DS). Las medias fueron comparadas mediante el análisis de varianza (ANOVA), luego de evaluar su homogeneidad por el Test de Kolmogorov-Smirnov. La diferencia entre las medias se evaluó mediante el test de Fisher y se consideró significativa cuando la p fue menor de 0.05.

RESULTADOS

La Tabla 1 contiene los valores promedio de los datos de este estudio. Una visión comparativa entre los valores de nivel del mar (RNM) y los de 3,400 m (RA), tanto en reposo como en ejercicio se aprecia en las figuras 1-4. Estas figuras representan la evolución de las variables en función del tiempo en la altura.

TABLA 1. VALORES PROMEDIO DE PETO2, SaO2, PETCO2 Y FC EN FUTBOLISTAS EN CONDICIONES DE REPOSO Y EJERCICIO A NIVEL DEL MAR Y A 3,400 m

REPOSO				
	PETO2 (Torr)	SAO2 (%)	PETCO2 (Torr)	FC (lat/min)
LIMA				
$\bar{X}$	107.7	99	37.2	59
DS	4.20	0.80	3.30	7.80
n	14	14	13	14
CUSCO 1*				
$\bar{X}$	58.4	91	30.2	66
DS	2.50	2.00	1.70	9.90
n	16	16	16	16
CUSCO 3*				
$\bar{X}$	61.5	93	29.9	63
DS	2.20	1.80	1.80	9.80
n	16	16	16	16
CUSCO 7*				
$\bar{X}$	62.4	93	28.6	66
DS	2.80	2.00	1.90	11.00
n	19	20	20	20
EJERCICIO				
LIMA				
$\bar{X}$	116.1	98	41.7	122
DS	7.30	1.40	6.50	20.10
n	14	14	14	14
CUSCO 2*				
$\bar{X}$	74.7	87	25.0	149
DS	4.50	4.00	4.00	10.40
n	16	16	16	16
CUSCO 5*				
$\bar{X}$	76.0	88	25.0	141
DS	5.60	3.50	3.70	19.20
n	18	19	19	20

\* Los números corresponden a los días de estudio luego de la llegada a la ciudad de Cusco.

En la figura 1 se muestra que el PETO<sub>2</sub> permanece estable en reposo, y luego de la llegada a la altura (días 1,3 y 7). En ejercicio (días 2 y 5), los resultados son también estables pero superiores a los de reposo y atribuibles a la mayor producción de CO<sub>2</sub> del ejercicio. No hay diferencias estadísticamente significativas entre los promedios de los días 1,3 y 7, ni entre los promedios de los valores obtenidos

en ejercicio. En relación a la PETCO<sub>2</sub> (figura 2), los promedios en la altura, tanto en reposo como en ejercicio, permanecieron estables y sin variación estadística durante los días de estudio. Comparativamente la caída de la PETCO<sub>2</sub> en ejercicio es apreciablemente mayor que en reposo cuando se la compara con la de PETO<sub>2</sub>. Esto es una expresión de la fuerte hiperventilación producida por el ejercicio en recién llegados a la altura.





Las medias de  $SaO_2$  (figura 3) en la altura, tanto en reposo como en ejercicio, mostraron una tendencia hacia valores mayores, pero no se encontró diferencias estadísticas entre ellas en función del tiempo. Los promedios de la FC durante la estadía a 3,400 m. no variaron estadísticamente. Los valores en ejercicio fueron apreciablemente mayores como es de esperar (figura 4). El puntaje general de aclimatación (figura 5) comparativo entre los días 2 y 5 de la estadía a 3,400, permitió observar cómo de 14 jugadores, 8 subieron su puntaje en el día 5, 4 lo mantuvieron igual y 2 lo bajaron. El promedio del PGA del día 5 fue significativamente mayor que el día 2 ( $p < 0.01$ ). Este resultado muestra un claro proceso de aclimatación entre los días 2 y 5 y contrasta con las medidas individuales de  $PO_2$ ,  $PCO_2$ ,  $SaO_2$  y FC que permanecieron estables.

#### *Comparación con el equipo de Cusco (3,400 m) (Un grupo humano aclimatado).*

Se comparó al grupo de residentes de NM con el grupo de residentes de altura ( $n = 12$ ) con el fin de evaluar si las variables escogidas diferían entre ambos grupos. Esta comparación sólo se llevó a cabo en condiciones de reposo. La ventilación, como era de prever, fue más moderada en el grupo RA (12.5(2.58) vs 15.6(2.71) l/min;  $p < 0.015$ ). Es conocido que esta variable va disminuyendo lentamente a lo largo de la estadía en la altura, quedando, sin embargo, en valores 25 a 35% mayores que a nivel del mar.

Los valores de  $PETCO_2$  fueron menores que los valores normales a nivel del mar, tanto para RNM como para RA (29.9(1.73) vs 29.5(2.38) torr). Ambos grupos están dentro de los valores normales que corresponden a una adecuada ventilación. RNM alcanzó valores de  $PETO_2$  similares a los de RA (61.5 (2.12) vs 62.1 (2.55) Torr), indicando que la ventilación logró regular la primera etapa del transporte de oxígeno desde el ambiente a los tejidos. En lo que respecta a la frecuencia cardíaca, ésta fue menor en el grupo RNM (63(9.5) vs 74(9.5) lat/min;  $p < 0.02$ ), resultado relacionado tanto al proceso de aclimatación como al de entrenamiento.

Los jugadores RNM lograron valores de  $SaO_2$  similares (a los 5 días; 92.9 (1.76) vs 92.8 (1.3)%), y en algunos casos ligeramente superiores (a los 7 días) a los del equipo de altura. Esto es una indicación que todas las modificaciones cardio-respiratorias lograron compensar la caída de la presión parcial de oxígeno a 3,400 m. Es interesante observar que a nivel del mar, el grupo RNM mostró una frecuencia cardíaca relativamente baja como ocurre en sujetos bien entrenados. El grupo de altura mostró una frecuencia mayor, resultado que coincide con una menor intensidad de entrenamiento del grupo RA (comunicación personal), ( $p < 0.001$ ).

## DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio permiten concluir que la adaptación metodológica del test de tolerancia a la hipoxia a un estudio en terreno fue satisfactoria. Estos son además, indicación de la posibilidad futura de aplicación de esta metodología al estudio del grado de aclimatación a la altura de otros grupos de deportistas.

La comparación de las cifras de  $PETO_2$ ,  $PETCO_2$ ,  $SaO_2$  y FC con el equipo de Cusco no mostró diferencias, indicando una buena aclimatación en reposo por parte del grupo RNM. Los valores aislados de cada variable fisiológica en reposo no expresaron el nivel de aclimatación. En contraste, las pruebas post-ejercicio mostraron claramente un aumento del puntaje de aclimatación de la mayoría de los jugadores, lo que dio como resultado que la media de puntaje aumentara en el día 5 significativamente. Para medir el puntaje en forma comparativa, no hemos tomado en consideración pruebas subjetivas como el puntaje de intolerancia a la altura basado en un cuestionario. Hubiera sido deseable medir la ventilación pulmonar post-ejercicio en todo el estudio, pero razones técnicas lo impidieron. Sin embargo, la medida de la  $PCO_2$  en el aire espirado resultó satisfactoria.

La figura 6 muestra como se comporta la  $SaO_2$  en función de la caída de la  $PO_2$ . Puede observarse que en Lima tanto en reposo como en ejercicio, los valores obtenidos siguen la curva tipo. En cambio en altura durante ejercicio, los valores caen debajo de la curva tipo. Esto no llama la atención ya que cuando aumenta el consumo energético, como sucede en el ejercicio, la falta de  $O_2$  limita la capacidad de difusión pulmonar. El consumo de  $O_2$  máximo ( $VO_2 \max$ ), un indicador que mide la capacidad física, disminuye progresivamente en la altura, de tal modo que a 4800 m. una persona sólo conserva el 70% de su capacidad física habitual (15).

Cabe resaltar el hecho que la ventilación, medida en reposo, fue menor en el grupo RA y que es lo esperado en sujetos aclimatados a la altura por tiempo considerable. En lo que respecta a la menor FC del grupo RNM, es una indicación del mejor estado físico con respecto al grupo de altura, aún a 3,400 m. Al realizar un menor gasto energético cardíaco, el oxígeno habría sido extraído más eficientemente por los jugadores de NM que por los de altura. En un buen, estado físico, toda demanda energética genera un «estrés» menor. En general y en reposo, un litro de sangre contiene alrededor de 200 ml de oxígeno cuando la hemoglobina se encuentra saturada. El consumo de oxígeno es de 250 ml por minuto, tanto en personas entrenadas como no entrenadas, pero 1000 ml de oxígeno por minuto están en realidad disponibles a la salida de la sangre por la arteria aorta.



Esto significa que en el descanso, se utiliza 25% y se tiene una reserva de 75%. Las personas entrenadas pueden extraer hasta 80% de esa reserva durante el ejercicio.

De acuerdo a los estudios disponibles hasta hoy, el efecto de entrenarse en la altura es todavía motivo de controversia (18,19,20,21). Algunos estudios han demostrado que 2 a 6 semanas de entrenamiento a alturas moderadas de competencia es beneficioso, pero a mayores alturas no presenta ninguna ventaja. Adams y col (19) han demostrado, en corredores de distancias cortas, que el entrenamiento en la altura no mejora los tiempos obtenidos a nivel del mar. Sin embargo, Levine y col (2) sugieren que el entrenamiento a alturas moderadas (1000 a 2000 m) sería de beneficio para los corredores de fondo. Adicionalmente, Chapman y col (22) han reportado que un equilibrio entre una estadía a una altura suficientemente «alta» para incrementar la concentración de eritropoyetina y aumentar el  $\text{VO}_2$  máximo, y un entrenamiento a una altura suficientemente «baja» para mantener el transporte de oxígeno en valores de nivel del mar, sería la situación ideal para mejorar el rendimiento físico, especialmente en los que responden adecuadamente al estímulo hipóxico. Dado que en la práctica del fútbol coexisten tanto el ejercicio rápido como el sostenido, podría considerarse que el entrenamiento a alturas moderadas sería de beneficioso para la práctica de este deporte en la altura.

En este estudio, los futbolistas presentan mayores valores de  $\text{SaO}_2$  para la altura de Cusco, cuando se les compara con los valores de  $\text{SaO}_2$  de sujetos sedentarios recién llegados a la altura obtenidos de la literatura (15). Esto indicaría que el entrenamiento de fondo permitiría mejorar las condiciones de transporte de  $\text{O}_2$ , de manera que cuando el atleta se expone a la altura, evita una disminución exagerada de la  $\text{SaO}_2$ , y no necesariamente que el entrenamiento en altura les estaría aportando mayores ventajas. Sin embargo, esto no se cumpliría en atletas sometidos a ejercicio puramente sostenido y prolongado, pues éstos bajan su saturación al ser expuestos a una hipoxia severa en forma aguda (Comunicación personal, 23).

Los resultados obtenidos en este estudio nos permiten concluir que el grupo de jugadores estudiados, luego de 7 días de estadía a 3,400 m, alcanzaron un nivel satisfactorio de aclimatación. Al día siguiente de su llegada, sus valores en reposo eran superiores a lo esperado para el residente a esa altura, más no así, en ejercicio. En los días sucesivos, todos los valores fueron acercándose hacia los valores propios de la aclimatación. Consideramos, que si bien la aclimatación es un proceso continuo, los cambios respiratorios y cardio-vasculares más importantes para compensar al organismo de la disminución de la presión parcial de oxígeno, se dan en los primeros días, y que entre 7 y 10 días serían suficientes

para estabilizar el proceso de aclimatación. Un período de aclimatación más prolongado no incrementaría de manera relevante la relación costo (psicológico y económico)/beneficio (fisiológico).

## AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Dr. Gustavo Gonzales R., (Director del Instituto de Investigaciones de la Altura, IIA-UPCH), por habernos convocado a hacer este estudio, y al Dr. Arturo Villena P. (miembro del IIA-UPCH), por haber colaborado con algunas de las mediciones realizadas en este estudio.

Al Sr. José Aramburú (Presidente de la Comisión de Fútbol Francia-98) y al Sr. Juan Carlos Oblitas, (Director Técnico de la Selección Peruana de Fútbol) por haber apoyado y confiado en este estudio, y por haber dado el primer paso para que los estudios de altura tengan el lugar que se merecen en el deporte Peruano. Al Sr. Fredy Ternero (Asistente de la Dirección Técnica de la Selección Peruana de Fútbol) y al Sr. Jorge Machuca (Preparador Físico de la Selección Peruana de Fútbol), por la colaboración técnica para que este estudio haya tenido la rigurosidad científica necesaria.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Gamboa R. Esfuerzo Físico en la Altura. En: Fisiología del Esfuerzo Físico. Eds Centro de Impresiones de la Universidad Peruana Cayetano Heredia, Lima Perú, 93-101, 1994.
2. Levine B and Stray-Gundersen J. A practical approach to altitude training: Where to live and train for optimal performance enhancement. *Int J Sports Med*, Vol13, Suppl 1, S209-S212, 1992
3. Reeves J, McCullough R, Moore L, Cymerman A and Weil J. Sea-level  $\text{PCO}_2$  relates to ventilatory acclimatization at 4,300 m. *J. Appl. Physiol.* 75(3): 1117-1122, 1993.
4. B. Hanel, B.D. Levine, K. Engfred, P.S. Clifford, D.B. Friedman and N.H. Secher. Maximal inspiratory pressure following endurance training at altitude. *Ergonomics*, 1994, Vol. 37, N° 1, 59-67.
5. Favier R, Spielvogel H, Desplanches D, Ferretti G, Kayser B, Grunenfelder A, Leuenberger M, Tüscher L, Caceres E And Hoppeler H. Training in hypoxia vs. training in normoxia in high-altitude natives. *J Appl Physiol*. 78(6):2286-2293, 1995.
6. Levine B and Stray-Gundersen J. "Living high-training low": effect of moderate-altitude acclimatization with low altitude training on performance. *J. Appl Physiol* 82(7): 1-11, 1997.



7. Lenfant C., Sullivan k. Adaptation to high altitude. *N. England J. Med.* 284, 1296-1309, 1971).
8. Piiper J. Gas transfer function of lungs at high altitude: Importance of diffusion limitation for oxygen uptake. *Med Sport -Sci.*, 19, 73-78, 1985.
9. Dejours P., Kellog R.H., Pace N., Regulation of respiration and heart rate response in exercise during altitude acclimatization. *J. Appl. Physiol.* 18, 10-18, 1963.
10. Richalet J.P., Le-trong J.L., Rathat C., Merlet P., Bouissou P., Keromes A., Veyrac P. Reversal of hypoxia-induced decrease in human cardiac response to isoproterenol infusion. *J. Appl. Physiol.* 67 (2), 523-527m 1989a.
11. Richalet J.P., Merlet P., Bourguignon M., Le Trong J-L., Keromes A., Rathat C., Jouve B., Hot M.A., Castaigne A., Syrota A., MIBG scintigraphic assessment of cardiac adrenergic activity in response to altitude hypoxia. *J. Nucl. Med.* 31 (1), 34-37, 1990b.
12. Wolfe B.B., Voelkel N.F., Effects of hypoxia on atrial muscarinic cholinergic receptors and cardiac parasympathetic responsiveness, *Biochem, Pharmacol.* 32 (13), 1000-2002, 1983.
13. Wolfe B.B., Voelkel N.F., The heart and adrenergic system in hypoxia, In: "Hypoxia. The adaptations" Ed. B.C Decker Inc., Toronto, Philadelphia 231-240, 1990.
14. Richalet J.P., Keromes A., Carillion A., Mehdiout H., Larmignat P., Rathat C. Response a l'hypoxie et susceptibilite au Mal des Montagnes. *Arch. Mal Coeur* 82(II), 49-54, 1989.
15. Richalet J.P. and Rathat C. *Pathologie et Altitude.* Masson S.A., Paris, 1991.
16. Collins D.D., Scoggin C.H., Zwillich C.W., Weil, J.V. Hereditary aspects of decreased hypoxic response. *J. Clin. Invest* 5 (1), 105-110, 1978.
17. Lahiri S., Mokashi A., Giulio C.D., Sherpa A.K., Huand W.X., Data P.G. Carotid body adaptation: lessons from chronic stimuli in: "Hypoxia, The adaptations", J.R. SUTTON, G.COATES, J.E. REMMERS, eds. B.C. Decker Inc., Toronto, Philadelphia, 127-130, 1990.
18. Grover R, Reeves J, Grover E and Leathers J. Muscular exercise in young man native to 3,100 m 10,200 feet altitude. *J. Appl Physiol* 1967; 22:555-564
19. Hansen J, Vogel J and Stelter G. Oxygen uptake in men during exhaustive work at sea level and high altitude. *J Appl Physiol* 1967; 23:511-522.
20. Adams W, Bernguer M, Dilli D. Effects of equivalent sea-level and altitude training in  $VO_2$  max and running performance. *J Appl Physiol* 1975; 39:262-266.
21. Wolski La, Mckenzi DC and Wenger Ha. Altitude training for improvements in sea level performance. Is there scientific evidence of benefit?. *Sports Med.* 1996; 22(4):251-263.
22. Chapman RF, Stray-Gundersen and Levine BD. Individual variation in response to high altitude training. *J Appl Physiol.* 1998; 85(4):1448-1456.
23. Richalet J-P. Université Paris XIII. Comunicación personal.