



BIOCIENCIAS

Revista de la Facultad de Ciencias de la Salud

Vol. 8 - año 2010

SEPARATA



ESTUDIO DEL EQUILIBRIO ÁCIDO BASE DURANTE LA REALIZACIÓN DE UN TEST DE CAMPO MÁXIMO EN FUTBOLISTAS PROFESIONALES

**Jiménez-Herranz E ; Ramos-Álvarez JJ; Montoya Miñano JJ ;
Segovia-Martínez JC; López-Silvarrey FJ; Calderón-Montero FJ**

Universidad Alfonso X el Sabio

Facultad de Ciencias de la Salud

Villanueva de la Cañada

©Del texto: Jiménez-Herranz E, Ramos-Álvarez JJ, Montoya Miñano JJ, Segovia-Martínez JC, López-Silvarrey FJ y Calderón-Montero FJ.

Septiembre, 2010

http://www.uax.es/publicaciones/archivos/CCSORI10_002.pdf

© De la edición: BIOCIENCIAS. Facultad de Ciencias de la Salud.

Universidad Alfonso X el Sabio.

28691, Villanueva de la Cañada (Madrid).

ISSN: 1696-8077

Editor: Gregorio Muñoz Gómez biociencias@uax.es

No está permitida la reproducción total o parcial de este artículo, ni su almacenamiento o transmisión por cualquier procedimiento, sin permiso previo por escrito de la revista BIOCIENCIAS.

**ESTUDIO DEL EQUILIBRIO ÁCIDO BASE
DURANTE LA REALIZACIÓN DE UN TEST DE
CAMPO MÁXIMO EN FUTBOLISTAS
PROFESIONALES**

Jiménez-Herranz E

Facultad Ciencias de la Salud. Universidad Alfonso X el Sabio. Madrid

Ramos-Álvarez JJ

Facultad Ciencias de la Salud. Universidad Alfonso X el Sabio. Escuela de Medicina de la E.F. y el Deporte. Universidad Complutense de Madrid

Montoya Miñano JJ

Facultad Ciencias de la Salud. Universidad Alfonso X el Sabio. Madrid

Segovia-Martínez JC

Escuela de Medicina de la E.F. y el Deporte. Universidad Complutense de Madrid

López-Silvarrey FJ

Escuela de Medicina de la E.F. y el Deporte. Universidad Complutense de Madrid

Calderón-Montero FJ

Instituto Nacional de Educación Física (INEF). Madrid

El presente trabajo ha sido realizado gracias a una beca de investigación de la Fundación UAX y el Banco de Santander.

Nuestro agradecimiento al Servicio Médico del Atlético de Madrid por facilitarnos la realización de este trabajo.

RESUMEN

El objetivo de este estudio es investigar el equilibrio ácido-base al realizar un test de campo máximo en futbolistas profesionales. Durante la práctica de un ejercicio físico, en un amplio rango de intensidad, el pH se mantiene muy próximo a los valores de reposo. A intensidades más elevadas el pH desciende en relación inversa. Los diferentes sistemas de amortiguación del organismo son los responsables de estas variaciones. Las variables que determinan el pH pueden ser divididas en independientes y dependientes, siendo el estudio de las mismas esencial para comprender las variaciones en el equilibrio ácido-base. En el presente trabajo se analizaron tres de las variables que determinan las modificaciones en el pH: la presión parcial de CO₂ (pPCO₂), la concentración de bicarbonato (HCO₃⁻) y la concentración de lactato. Las determinaciones fueron realizadas en sangre capilar en diecinueve jugadores durante la realización de un ejercicio incremental.

PALABRAS CLAVE: Fútbol, pH, test de campo

ABSTRACT

The aim of this study is to investigate the acid-base balance when performing a maximal field test of professional soccer players. During the practice of physical exercise in a wide range of intensity, the pH is maintained close to resting values. At higher intensities the pH drops in inverse proportion. The different buffer systems of the body are responsible for these variations. The variables that determine the pH can be divided into independent and dependent, being the study of them essential to understanding the changes in acid-base balance. In this study we analyzed three variables that determine the changes in pH: the partial pressure of CO₂ (pPCO₂), the concentration of bicarbonate (HCO₃⁻) and lactate concentration. The determinations were performed on capillary blood in nineteen players while performing an incremental exercise.

KEY WORDS: Soccer, pH, field test

INTRODUCCIÓN

El mantenimiento del pH del medio interno, dentro de unos límites estrechos, es de vital importancia para los seres vivos. Las reacciones metabólicas generan una gran cantidad de ácidos, pese a lo cual, la concentración de hidrogeniones $[H^+]$ libres en los distintos compartimentos corporales va a permanecer fija dentro de unos límites estrechos (Calderón Montero, 2007; Villarreal, 1979). Ello es debido a la acción de los amortiguadores fisiológicos que van a actuar de forma inmediata impidiendo grandes cambios en la concentración de hidrogeniones, y a los mecanismos de regulación pulmonar y renal, que son en última instancia los responsables del mantenimiento del pH (B. N. Koeppen, 1998; Boning, Maassen, Thomas & Steinacker, 2001; J. McNamara & L. I. G. Worthley, 2001).

Gracias a este poder de amortiguación, el pH se mantiene muy próximo a los valores de reposo en un amplio rango de intensidad de ejercicio (Calderón, Legido, Benito, Peinado & Paz, 2005). A partir de cierta intensidad comienza a descender el pH en relación inversa (L. Hermansen & Osnes, 1972; Hultman & Sahlin, 1980). La caída en el pH sanguíneo es la consecuencia principal de una mayor dependencia del metabolismo anaeróbico y se corresponde, entre otros, con incrementos en el lactato sanguíneo observados con intensidades crecientes de ejercicio (Wilmore, 2004, N L Jones, 2008); mientras que la presión parcial de CO_2 atenúa esta disminución (Heigenhauser, 1995). Cuando la intensidad del ejercicio alcanza un valor determinado, el incremento de la concentración de ácido láctico en plasma determina un aumento de la concentración de protones ($[H^+]$), con un descenso de la concentración de bicarbonato ($[HCO_3^-]$) (Heigenhauser, 1995).

El objetivo del presente trabajo es averiguar las modificaciones que se producen en los valores de pH con la realización de un ejercicio de esfuerzo incremental en futbolistas profesionales. Analizando tres de las variables que pudieran determinar dichas modificaciones en el pH en relación al equilibrio ácido-base, como son la presión parcial de CO_2 ($pPCO_2$), la concentración de bicarbonato (HCO_3^-) y la concentración de lactato.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se estudiaron 19 jugadores de fútbol profesional pertenecientes al mismo equipo de la 1ª división española. Todos los sujetos de la muestra son varones. La *Tabla I* contiene las características morfológicas de la muestra.

N:19	MEDIA +/- Desviación Estandar (DE)
EDAD	23 +/- 2,83
PESO	75,55 +/- 4,69
TALLA	1,80 +/- 0,05

Tabla I

Al total de los 19 jugadores se les realizó un test de campo en septiembre de 2008. El objetivo de realizar el test en este momento concreto de la temporada era conocer el estado de forma previo al inicio de la competición.

El test de campo aplicado consistió en un protocolo incremental de velocidad. El lugar de realización del mismo fue un campo de fútbol de césped artificial de 3ª generación. Se comienza con una velocidad de 11 Km/h. y se va aumentando 1 km/h en cada estadio, hasta completar un total de cinco estadios. Cada estadio dura diez minutos, excepto el último que tiene una duración de cinco minutos, con tres minutos de descanso entre cada serie (*Figura 1*)

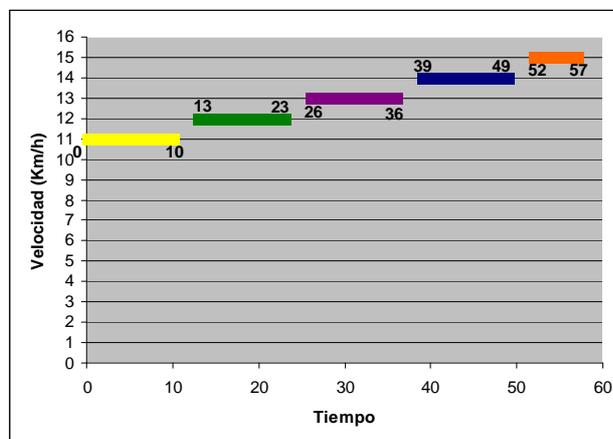


Figura 1

A cada sujeto de la muestra le realizamos una toma de sangre capilar al principio del test y al completar cada estadio. Se registró la frecuencia cardiaca (FC) durante toda la prueba.

Para el análisis de las muestras utilizamos un equipo GEM Premier 3000 en el mismo escenario de la prueba incremental.

Para el registro de la FC se utilizó un pulsímetro modelo Polar RS 800.

El análisis estadístico de los datos se realizó en el Departamento de Apoyo a la Investigación de los Servicios Informáticos de la Universidad Complutense de Madrid. Se utilizó el programa SPSS 15.0 (SSPS, 2006).

Para cada parámetro medido se realizó estudio descriptivo de las variables continuas: número de casos, media, desviación típica, error típico de la media, valores máximo y mínimo e intervalo de confianza (Ferrán Aranaz, 1996).

Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) al objeto de contrastar la existencia de igualdad entre las medias. Una vez determinadas las diferencias entre las medias, se realizaron las pruebas de rango post hoc que nos permiten determinar las medias que difieren. Las pruebas de rango identifican subconjuntos homogéneos de medias que no se diferencian entre sí. El nivel de significación alfa fue de 0,05 (95%).

RESULTADOS

En la tabla II figura la media y la DE, obtenida de los parámetros analizados en cada momento de la prueba.

	Reposo	V11	V12	V13	V14	v15
FC	87,68 ± 10,17	158,00 ± 11,55	172,16 ± 10,53	186,78 ± 11,67	196,56 ± 13,63	198,18 ± 13,78
pH	7,42 ± 0,02	7,42 ± 0,03	7,40 ± 0,03	7,38 ± 0,06	7,36 ± 0,05	7,33 ± 0,05
PCO ₂	38,84 ± 2,65	38,32 ± 2,19	36,21 ± 2,15	34,05 ± 2,91	31,47 ± 4,26	29,90 ± 3,28
Lac	1,65 ± 0,42	2,90 ± 1,05	4,22 ± 1,81	7,16 ± 3,36	9,09 ± 3,08	11,69 ± 2,36
HCO ₃ ⁻	25,53 ± 1,38	25,09 ± 1,92	23,02 ± 2,40	20,76 ± 3,67	18,25 ± 4,16	15,92 ± 2,89

Tabla II

Frecuencia cardiaca.

Durante el reposo el valor medio de la FC es de $87,68 \pm 10,166$, alcanzando un valor de $198,18 \pm 13,78$ en el último estadio. Podemos ver estas variaciones en la Figura 2.

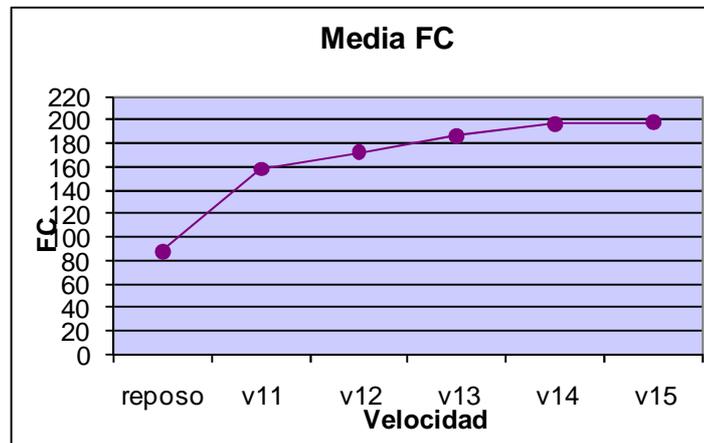


Figura 2

Encontramos un aumento significativo de la FC ($p < 0,05$) entre todos los escalones:

pH.

Las variaciones del pH quedan reflejadas en la Figura 3.

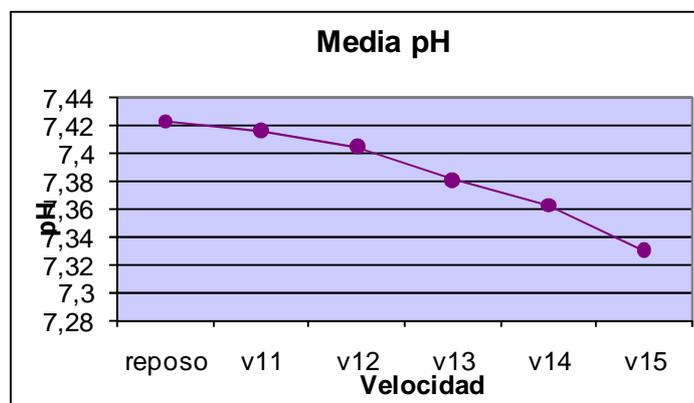


Figura 3

El pH va descendiendo a lo largo de toda la prueba desde los valores de reposo. Este descenso se hace significativo cada tres escalones ($p < 0,05$). El pH cae significativamente a los 13 km/h en relación a los valores de reposo. En 14 km/h con respecto al escalón de 11 km/h y así sucesivamente. La caída del pH no es significativa en los dos primeros escalones ($p > 0,05$).

- **PpCO₂.**

Las variaciones de la PpCO₂ quedan reflejadas en la Figura 4.

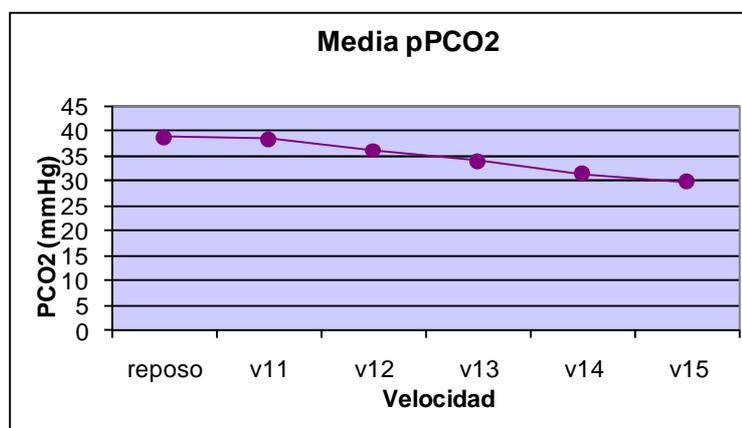


Figura 4

La pPCO₂ presenta un comportamiento similar al pH. Va descendiendo a lo largo de toda la prueba desde los valores de reposo. Este descenso se hace significativo cada tres escalones ($p < 0,05$). El pH cae significativamente a los 13 km/h en relación a los valores de reposo. En 14 km/h con respecto al escalón de 11 km/h y así sucesivamente. Aunque sin diferencias significativas entre los dos últimos escalones. ($p > 0,05$).

Lactato.

La concentración de lactato va aumentando a lo largo de la prueba. Partimos de unos valores de reposo de $1,65 \pm 0,42$ alcanzando valores máximos de $11,69 \pm 2,36$ en el último estadio. De forma gráfica podemos ver estas variaciones en la Figura 5.

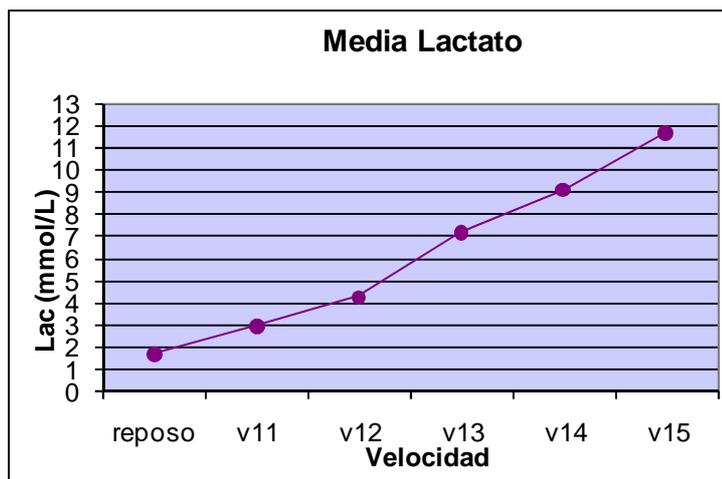


Figura 5

La concentración de lactato va aumentando significativamente a partir del primer escalón (11 km/h) ($p < 0,05$), no encontrándose diferencias significativas en este escalón con respecto al valor basal ($p > 0,05$).

HCO_3^- .

Las variaciones del HCO_3^- están representadas en la Figura 6

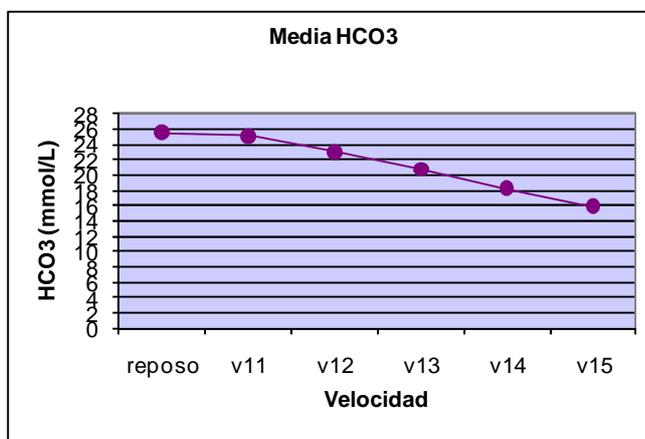


Figura 6

El HCO_3^- presenta un comportamiento similar al pH y a la pPCO_2 . Va descendiendo a lo largo de toda la prueba desde los valores de reposo. Este descenso se hace significativo cada dos escalones ($p < 0,05$). El HCO_3^- cae significativamente a los 13 km/h en relación a los valores de reposo. En 13 km/h con respecto al escalón de 11 km/h y así sucesivamente.

Si correlacionamos los valores del descenso del pH con los diferentes parámetros estudiados durante la prueba, encontramos:

- Una correlación lineal negativa fuerte ($r = -0,76$) con la FC (*Figuras 7 y 11*).
- Una correlación lineal negativa fuerte ($r = -0,99$) con la concentración de lactato (*Figuras 8 y 11*).
- Una correlación lineal positiva fuerte ($r = 0,98$) con la PpCO₂ (*Figuras 9 y 11*).
- El descenso en los valores de con una correlación lineal positiva fuerte con el HCO₃⁻, ($r = 0,99$) (*Figuras 10 y 11*).

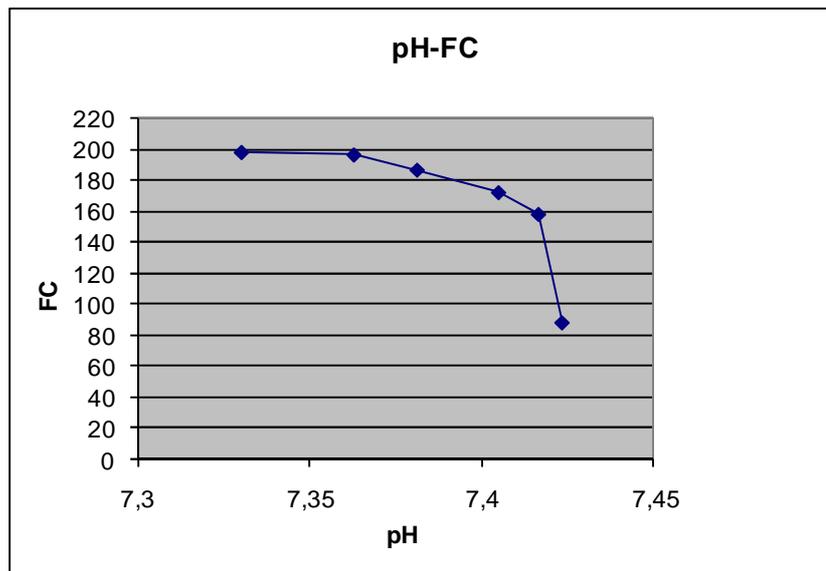


Figura 7

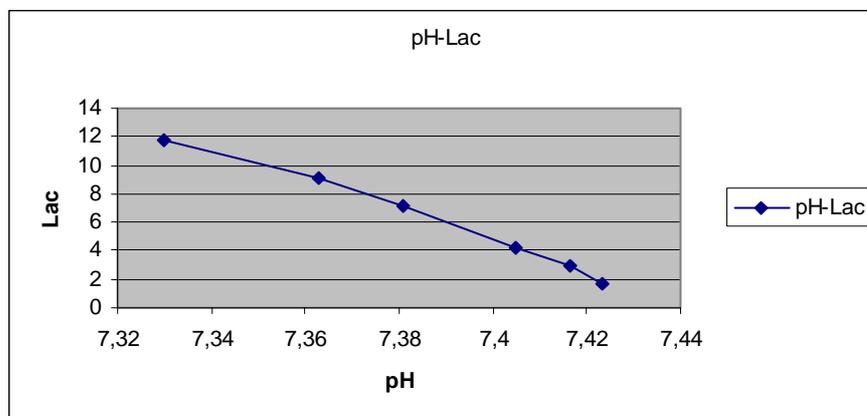


Figura 8

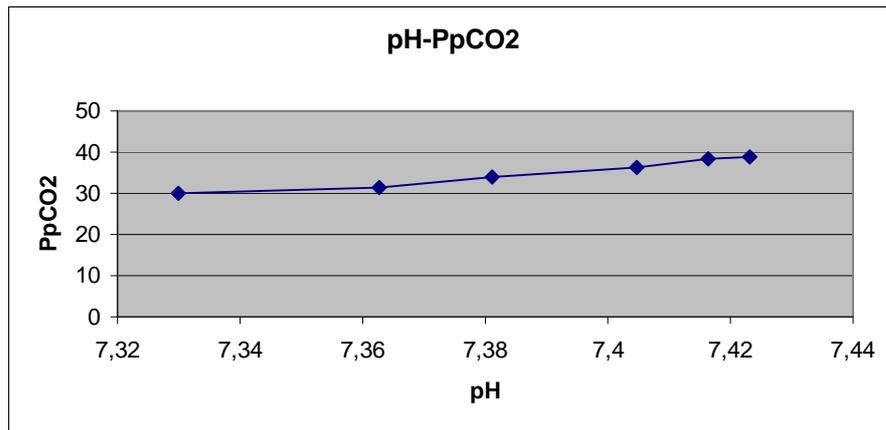


Figura 9

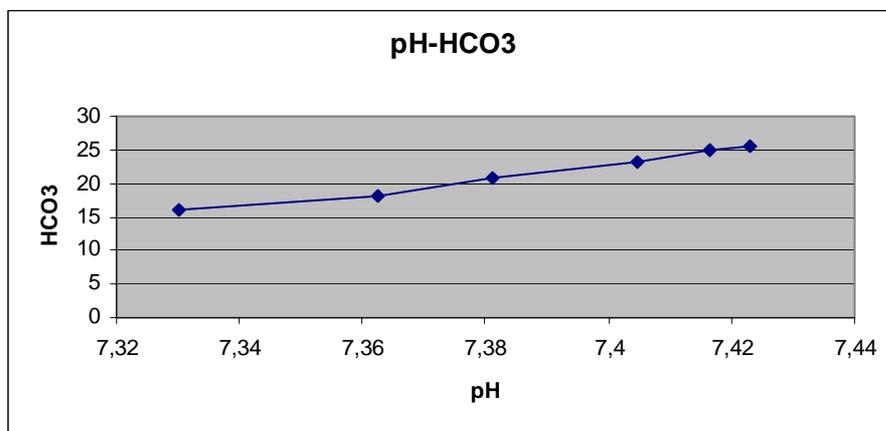


Figura 10

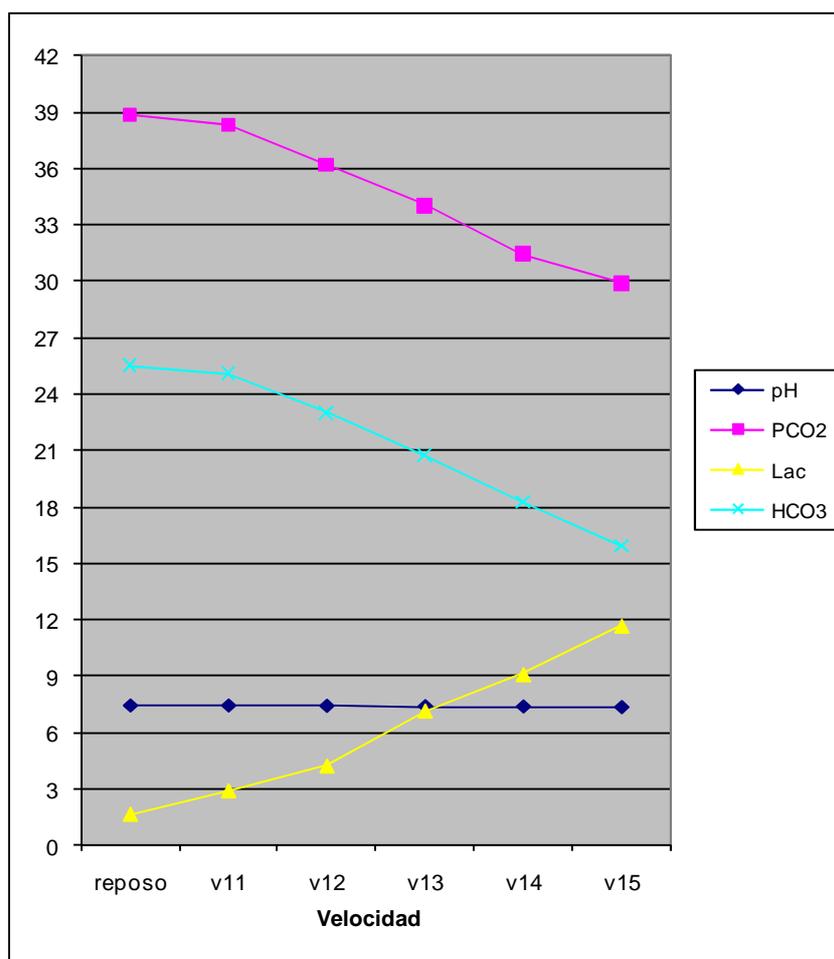


Figura 11

DISCUSIÓN

La realización de ejercicio físico incremental conlleva cambios en el estado ácido base del organismo. En el presente estudio hemos observado como a medida que se incrementa la intensidad del ejercicio el valor del pH en sangre va disminuyendo. Este descenso se mantiene en los tres primeros escalones dentro de los valores considerados normales en reposo, para entrar en cifras consideradas como acidosis en los dos últimos escalones de la prueba.

Estos datos coinciden con los publicados hasta la fecha. Hermansen et al, comunican que durante la realización de ejercicio físico, en un amplio rango de intensidad el pH se mantiene muy próximo a los valores de reposo; y que a intensidades más elevadas el pH desciende en relación inversa (L. Hermansen & Osnes, 1972; Hultman & Sahlin, 1980).

Es probable que el sistema de amortiguación sea válido hasta cierta intensidad de ejercicio, a partir de la cual, dejen de ser efectivos y traigan como consecuencia la disminución del pH. En nuestro estudio, el pH empezó a descender cuando los jugadores llevaban 30 minutos de ejercicio y comenzaban el cuarto escalón a 14 km/h. Pudiera ocurrir que a partir de dicha intensidad de ejercicio, los sistemas de amortiguación empezaron a dejar de ser efectivos.

El organismo humano utiliza diferentes sistemas de amortiguación durante la realización de ejercicio. Por un lado, el sistema respiratorio, mediante la eliminación de CO_2 . Por otro lado, intervienen otros sistemas como son las células musculares inactivas, los eritrocitos y el plasma (Hultman & Sahlin, 1980; N L Jones, 1980).

Otro aspecto interesante a destacar, es el efecto que el entrenamiento tiene sobre la $[\text{H}^+]$ y por tanto sobre el pH. La realización de un entrenamiento con ejercicio submáximo atenúa el incremento de la $[\text{H}^+]$ durante la realización posterior de ejercicio de alta intensidad mediante cambios adaptativos en determinadas variables independientes postuladas por Stewart (P. A. Stewart, 1983) como son la diferencia de ácidos fuertes $[\text{SID}]$ y la concentración de ácidos débiles parcialmente disociados $[\text{A}_\text{T}^-]$ (P.A. Stewart, 1983, Kowalchuk & Scheuermann, 1994). Estos cambios provocan una atenuación en el descenso de la $[\text{SID}]$ y una atenuación en el incremento en la $[\text{A}_\text{T}^-]$ provocados por el ejercicio. El papel ejercido por los eritrocitos en estas adaptaciones es esencial (Putman, Jones, & Heigenhauser, 2003). Esta aportación es interesante para poder realizar una valoración del estado de forma del sujeto y de esta manera programar de forma correcta los entrenamientos para aumentar el rendimiento.

Dentro de estos sistemas de amortiguación reseñados, en el presente estudio nos centramos principalmente en la amortiguación respiratoria, mediante la medición del CO_2 y HCO_3^- . El resto de parámetros no han sido estudiados y trascendían del objetivo del mismo.

El aparato respiratorio juega un papel crucial en el ajuste rápido en el estatus ácido-base del cuerpo durante e inmediatamente después del ejercicio. Los H^+ se combinan con el HCO_3^- formando CO_2 , que es eliminado por un incremento en la ventilación (Murray, 2001). El aparato respiratorio va a influir en dos variables independientes de la regulación del equilibrio ácido-base según la teoría de Stewart. Por un lado reduce la $PpCO_2$ y por otro, provoca un incremento en la [SID] del plasma (Kowalchuk et al., 1988). El incremento de la concentración de H^+ supone un estímulo importante del aparato respiratorio que desencadena un aumento de la ventilación y favorece la eliminación de CO_2 (Hultman & Sahlin, 1980; Osnes & Hermansen, 1972). El estímulo que desencadena la hiperventilación es principalmente la acidosis, aunque existen otros mecanismos adicionales responsables. Estos otros mecanismos implicados han sido estudiados mediante la administración de bicarbonato intravenoso durante una prueba incremental en cicloergómetro. Se han implicado a mecanorreceptores y quimiorreceptores musculares locales, nociceptores, impulsos neuronales de otro origen y el potasio sérico (Meyer, Faude, Scharhag, Urhausen, & Kindermann, 2004).

En relación a estos trabajos, hemos observado en nuestro estudio, que a medida que el pH va descendiendo la $PpCO_2$ va disminuyendo también. Este descenso progresivo conlleva a que el organismo entre en acidosis a partir de cierta intensidad del ejercicio, en nuestro caso, a partir del tercer estadio. Es decir, que a partir de cierta intensidad de ejercicio, a pesar de la disminución de la $PpCO_2$, el pH alcanza valores considerados como acidosis, como hemos constatado en el test realizado.

Por otro lado, los H^+ se combinan con el HCO_3^- formando CO_2 (Murray, 2001). En el análisis de los datos obtenidos podemos observar un descenso en los niveles de HCO_3^- a medida que aumenta la intensidad de la prueba. En los dos primeros estadios el descenso es leve, durante el tercer escalón el descenso aumenta su pendiente, para posteriormente volver a descender más lentamente (ver *Figura 6*). De alguna manera, la concentración de bicarbonato se va adaptando a la intensidad del ejercicio, independientemente del descenso del pH (*Figura 7*), lo que de alguna manera corrobora la existencia de otros sistemas amortiguadores que dejan de ser efectivos en un momento de alta intensidad de ejercicio, contribuyendo a la acidosis.

El HCO_3^- , hasta ahora considerado un amortiguador inorgánico de nuestro organismo, se ha postulado como una variable dependiente del equilibrio ácido-base (Stewart, 1978). En los últimos años una de las sustancias ergogénicas más estudiadas ha sido el bicarbonato de sodio. El mecanismo de acción del mismo es aumentar el pH plasmático, para de esa forma favorecer el paso de H^+ generados en las células musculares hacia la sangre siguiendo su gradiente de concentración. El resultado de tal proceso es una reducción en los niveles de acidez muscular, lo que podría retrasar la fatiga e incrementar la producción de fuerza muscular (Kolkhorst et al., 2004; Oöpik et al., 2003; Van Montfoort et al., 2004), aunque estas afirmaciones pueden ser discutibles según los resultados de nuestro estudio. Como ya hemos comentado las concentraciones de bicarbonato no interferían directamente en el pH capilar a medida que aumentaba la intensidad del ejercicio.

Existen muy pocos estudios precisos al respecto que permitan afirmar que manipulando el pH sanguíneo se podría lograr una facilitación de los sistemas aeróbicos y por tanto, una disminución de la fatiga. La profundización en el estudio del equilibrio ácido base durante la realización de ejercicio físico y los mecanismos reguladores de la fatiga muscular, abren nuevas vías para el uso de ayudas ergogénicas que mejoren el rendimiento deportivo.

En relación al lactato en sangre hemos podido observar cómo se produce un incremento del mismo según aumenta la intensidad del ejercicio. Este incremento es mayor entre el segundo y tercer estadio, alcanzando su valor máximo en el último escalón. Si comparamos el aumento de lactato con la disminución del pH, podemos observar que mientras los valores de pH se mantienen en rango de normalidad o cercanos a la misma, el lactato tiene una elevación importante (por ejemplo, en el escalón v13 llega a niveles de lactato de $7,158 \pm 3,3590$ mmol/L con un pH de $7,3811 \pm 0,05724$). Estos resultados nos llevarían a pensar, que quizás la producción de ácido láctico no pudiera ser la única responsable de la acidosis metabólica durante la realización de ejercicio físico.

En el pasado, los cambios en el equilibrio ácido base durante la realización de ejercicio físico (y los cambios que el entrenamiento produce en el mismo) se atribuían únicamente a los cambios en plasma de la $[\text{Lac}^-]$. Estudios actuales han demostrado que hay más factores que contribuyen a las variaciones en la $[\text{H}^+]$.

Para poder analizar de forma precisa estas variaciones y las modificaciones que se producen en las mismas con la realización de ejercicio físico es esencial el análisis de la [SID], de la $[A_T^-]$ y de la $PpCO_2$ (tanto en plasma como en el eritrocito y en la célula muscular) (Putman et al., 2003) (L. B. Gladden, 2004).

La $[Lac^-]$ en plasma se reduce con el entrenamiento. Además se ve influida por la intensidad del ejercicio realizado (Putman et al., 2003). En nuestro estudio, las cifras de lactato en sangre eran independientes del abandono de la prueba, si utilizamos dicho abandono como indicativo de fatiga. Estos valores, a su vez, eran independientes de las cifras de pH y de bicarbonato. Sin embargo todos los futbolistas abandonaban la prueba cuando las cifras de pH alcanzaban valores de acidez ($pH < 7,38$). Por tanto, es posible que el lactato por sí solo no pueda ser utilizado en la valoración y prescripción del ejercicio; quizás sería más interesante la valoración conjunta del equilibrio ácido-base. Es probable que la medición de algunos parámetros del equilibrio ácido-base no nos sirva a nivel práctico y sólo puedan ser usados para la investigación, ya que el alto costo de su medición, nos haría inviable el realizarlos como medición de rutina. Sin embargo, la medición del pH y del bicarbonato junto con el lactato, nos acercaría un poco más al conocimiento del equilibrio ácido-base y a los mecanismos de aparición de la fatiga en cada futbolista en concreto; y de esta manera tener más datos objetivos para planificar su entrenamiento. En este sentido, los resultados de algunos estudios sugieren que el incremento del metabolismo aeróbico puede ser más importante que el defecto metabólico o el metabolismo anaeróbico en los niveles de ácido láctico en sangre (Gore, Jahoor, & Hibbert, 1996).

En nuestro trabajo, hacemos referencia a un solo momento de la temporada. Sería interesante realizar un seguimiento a lo largo de la misma, y así valorar el estado físico de los deportistas durante todo el periodo de competición. Estos datos podrían tener su aplicación al entrenamiento, planificando las cargas en función de los cambios o adaptaciones en el equilibrio ácido base.

CONCLUSIONES

- A medida que aumenta la intensidad del ejercicio físico disminuye el valor de pH sanguíneo.
- A medida que aumenta la intensidad del ejercicio físico disminuyen las cifras de la $PpCO_2$ y de HCO_3^- , aunque estos parámetros, a pesar de disminuir, se hacen insuficientes para evitar la acidosis metabólica.
- El aparato respiratorio no es un amortiguador suficiente a una determinada intensidad de ejercicio físico incremental.
- El pH sanguíneo es un buen indicativo de la aparición de fatiga.
- El aumento en la $[Lac^-]$ sanguíneo no es el único responsable de la disminución del pH en sangre durante la realización de un ejercicio incremental.
- El HCO_3^- , la $PpCO_2$ y el pH pueden ser utilizados como prescripción de ejercicio y control del entrenamiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Boning, D., Maassen, N., Thomas, A., & Steinacker, J. M. (2001). Extracellular pH defense against lactic acid in normoxia and hypoxia before and after a Himalayan expedition. *European Journal of Applied Physiology*, 84(1-2), 78-86.
- Calderón, F. J., Legido, J. C., Benito, P. J., Peinado, A. B., & Paz, A. I. (2005). Análisis físico-químico del estado ácido-base durante el ejercicio. *Archivos de Medicina del Deporte*, XXII(109), 397-405.
- Calderón Montero, F. J. (2007). *Fisiología aplicada al deporte* (2ª ed.). Madrid: Tebar.
- Ferrán Aranaz, M. (1996). *SPSS para Windows. Programación y análisis estadístico*: McGraw-Hill.

- Gladden, L. B. (2004). Lactate metabolism: a new paradigm for the third millenium. *J Physiol*, 558(1), 5-30.
- Gore, D. C., Jahoor, F., & Hibbert, J. M. (1996). Lactic acidosis during sepsis is related to increased pyruvate production, not deficits in tissue oxygen availability. *An Surg*, 224, 97-102.
- Heigenhauser, G. J. (1995). A quantitative approach to acid-base chemistry. *Can J Appl Physiol* 20, 333-340.
- Hermansen, L., & Osnes, J. B. (1972). Blood and muscle pH after maximal exercise in man. *J Appl Physiol*, 32(3), 304-308.
- Hultman, E., & Sahlin, K. (1980). Acid-base balance during exercise. *Exerc Sport Sci Rev*, 8, 41-128.
- Jones, N. L. (1980). Hydrogen ion balance during exercise. *Clin. Sci.*, 59, 85-91.
- Jones, N. L. (2008). An obsession with CO₂. *Appl Physiol Nutr Metab*, 33(4), 641-650.
- Koeppen, B. M. (1998). Renal Regulation of Acid-Base Balance. *Adv Physiol Educ*, 20, 132-141.
- Kolkhorst, F., Rezende, R., Levy, S., & Buono, M. (2004). Effects of sodium bicarbonate on VO₂ kinetics during heavy exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36, 1895–1899.
- Kowalchuk, J. M., Heigenhauser, G. J., Lindinger, M. I., Obminski, G., Sutton, J. R., & Jones, N. L. (1988). Role of lungs and inactive muscle in acid-base control after maximal exercise. *J Appl Physiol*, 65(5), 2090-2096.
- Kowalchuk, J. M., & Scheuermann, B. W. (1994). Acid-base regulation: a comparison of quantitative methods. *Can J Physiol Pharmacol*, 72, 818-826.
- McNamara, J., & Worthley, L. I. G. (2001). Acid-Base Balance: Part I. Physiology. *Crit Care Resusc*, 3, 181-187.

- Meyer, T., Faude, O., Scharhag, J., Urhausen, A., & Kindermann, W. (2004). Is lactic acidosis a cause of exercise induced hyperventilation at the respiratory compensation point? *J Sports Med*, 38, 622-625.
- Murray, R. (2001). *Bioquímica de Harper* (15ª ed.): Atlante.
- Oöpik, V., Saaremets, L., Medijainen, L., & Janson, T. (2003). Effects of sodium citrate ingestion before exercise on endurance performance in well trained college runners. *British Journal of Sports and Medicine*, 37, 485-489.
- Osnes, J. B., & Hermansen, L. (1972). Acid-base balance after maximal exercise of short duration. *J Appl Physiol* 32(1), 59-63.
- Putman, C. T., Jones, N. L., & Heigenhauser, G. J. (2003). Effects of short-term training on plasma acid-base balance during incremental exercise in man. *J Physiol*, 550(2), 585-603.
- SSPS. (2006). Syntax reference guide (Version Version 15.0).
- Stewart, P. A. (1978). Independent and dependent variables of acid-base control. *Respir Physiol* 33(1), 9-26.
- Stewart, P. A. (1983). Modern quantitative acid-base chemistry. *Can J Physiol Pharmacol*, 61(12), 1444-1461.
- Van Montfoort, M., Van Dieren, L., & Hopkins, G. (2004). Effects of Ingestion of Bicarbonate, Citrate, Lactate, and Chloride on Sprint Running. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(7), 1239–1243.
- Villarreal, H. (1979). *Equilibrio ácido-básico*. Mexico: Librería de Medicina.
- Wilmore, J. (2004). *Fisiología del esfuerzo y del deporte* (5ª ed.).