

Revisión

**EL LACTATO Y SU PAPEL EN EL EQUILIBRIO ÁCIDO-BASE DURANTE EL EJERCICIO (REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA)**

**LACTATE AND ITS ROL IN ACID-BASE EQUILIBRIUM DURING EXERCISE (BIBLIOGRAPHIC REVIEW)**

**Yoanny Berriel Muñoz<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Especialista de 1er Grado en Medicina General Integral, Especialista de 1er Grado en Medicina Deportiva, Profesor Instructor

Correspondencia: Yoanny Berriel Muñoz  
Centro Provincial de Medicina del deporte de  
Matanzas Email: [ybmunoz.mtz@infomed.sld.cu](mailto:ybmunoz.mtz@infomed.sld.cu)

**RESUMEN**

Se realizó una revisión bibliográfica con el objetivo de profundizar sobre el rol del Lactato en el equilibrio acido-base durante el ejercicio. Esta revisión ha permitido identificar y recordar de que manera influye este en los sistemas de regulación del equilibrio acido-base y como va determinando el incremento de sus concentraciones con el aumento de la intensidad de ejecución. En realidad, son los hidrogeniones, los cuales tienen diferentes fuentes de origen, y no solamente el ácido láctico, el total responsable del desequilibrio hacia la acidez que sufre el organismo. Con la presente revisión se ha resaltado nuevamente el importante papel que juegan los sistemas de tamponamiento en la regulación del equilibrio acido básico durante el ejercicio el desempeño del lactato en estos procesos.

**Palabras Claves:** Ácido Láctico, lactato, tamponamiento y equilibrio electrolítico.

**ABSTRACT**

The aim of the following bibliographical review was to update knowledge on The Lactate and its role in the acid-base balance during the exercise. It has allowed to identify and to remember it influences this in the systems of regulation of the acid-base balance e of what way and like it's go to determining the increment of their concentrations with the increase of the execution intensity. In fact, they are the ions hydrogenates, which have different sources of origin, and not only the lactic acid, the total responsible for the imbalance toward the acidity that suffers the organism. To remember the important role it play in the systems of buffering capacity in the regulation of the basic on the balance during the exercise and the participation of the lactate in these processes.

**Key words:** Lactic acid, lactate, acidity and electrolytic balance.

## INTRODUCCIÓN

Referirse al equilibrio ácido-básico del organismo significa simplemente hacer alusión a las concentraciones de iones hidrógeno en los líquidos corporales. Cambios ligeros desde los valores normales en las concentraciones de iones hidrógenos causan alteraciones netas en la intensidad de las reacciones químicas de las células; algunas se deprimen y otras se aceleran. Por lo tanto la regulación de los iones hidrógeno es uno de los aspectos más importantes en la homeostasia del ser humano.

El ejercicio físico, muy independientemente de su intensidad, tiene como base el trabajo muscular, para el cual la producción de energía es factor indispensable para que este se produzca. El consumo energético de las células del músculo esquelético puede incrementarse hasta 1000 veces desde el inicial estado de reposo a un ejercicio de intensidad creciente. Esta alta demanda de energía excede la capacidad aeróbica de las células musculares y entonces, una gran parte del ATP requerido viene del metabolismo anaeróbico.

El metabolismo anaeróbico del glucógeno conlleva, además la acumulación de ácidos inorgánicos, de los cuales el ácido láctico es el más importante.

El ácido láctico como consecuencia de tener grupo hidroxilo (-OH) en posición C2, presenta dos isómeros. Uno es el ácido débil D-Láctico y el otro es el ácido Láctico, este último es el que tiene importancia biológica y puede ser metabolizado en el organismo humano. Tiene un peso molecular de 90,08 Da y un pKa de 3,5.

El ácido láctico, también se puede presentar en su forma ionizada, tras perder el H<sup>+</sup> del grupo carboxilo y convertirse en lactato. El ácido láctico tiene un pKa de 3,5; esto quiere decir que a un pH de 3,5 un 50% de las moléculas estarán como ácido y la otra mitad como anión lactato. A un pH inferior al pKa habrá mayor proporción de moléculas en forma de ácido y a un pH mayor del pKa habrá mayor proporción de moléculas en forma de anión lactato. Por esta razón a un pH 7,4 (pH fisiológico de la sangre) todas las moléculas estarán como anión. Por lo tanto en el cuerpo humano no hay ácido láctico sino lactato

Cuando incrementamos la intensidad de nuestro ejercicio o nuestras actividades de trabajo, se producen grandes cantidades de piruvato rápidamente. Debido a que el piruvato puede ser rápidamente producido, no todo es utilizado para energía aeróbica. El exceso del piruvato se convierte en lactato. Es por esta razón que el lactato es una señal tan importante para el entrenamiento. Cuando es producido, indica que la energía aeróbica es limitada durante la actividad. Existe otra razón por cual se produce más lactato cuando se incrementa la intensidad del ejercicio. Cuando se incrementa el ejercicio, se reclutan cantidades adicionales de fibras musculares. Estas fibras se utilizan con poca frecuencia durante el descanso o las actividades ligeras. Muchas de estas fibras son fibras de "contracción rápida". Las fibras de "contracción rápida" no tienen mucha capacidad de convertir el piruvato en energía aeróbica. Por lo tanto, mucho del piruvato se convierte en lactato.

Se han descrito teorías sobre el papel del lactato en el desequilibrio ácido básico que se produce durante la realización de algún ejercicio de intensidad evidente. Esta revisión tiene como objetivo abundar en estos criterios y ayudar a definir las siguientes interrogantes... ¿Quién es el verdadero responsable de la acidosis metabólica durante el ejercicio?, ¿Qué rol juega el lactato en estos procesos?

## DESARROLLO

El ejercicio físico puede considerarse como el conjunto de fenómenos mecánicos resultantes del funcionamiento del aparato locomotor, no obstante para que éste se realice adecuadamente y con eficiencia se requiere la participación de todos los sistemas orgánicos, de una forma integrada. (1)

El sistema anaeróbico Láctico o Glucólisis Anaerobia también conocido como vía de Embden-Meyer-hof, utiliza la degradación de la glucosa para la resíntesis del ATP, proporcionando una gran cantidad de energía por unidad de tiempo, aunque menor que el sistema de los fosfágenos. Su desventaja es que, en la degradación de la glucosa en piruvato, con liberación de hidrógeno ( $H^+$ ), cuando la concentración de oxígeno es insuficiente o nula, el  $H^+$  se fija al ácido pirúvico y forma ácido láctico (2).

Este hecho provoca una acidosis metabólica que incluye al tejido muscular y se manifiesta en sangre con sus diferencias en los valores de pH en cada uno de ellos. La acidosis inhibe enzimas importantes en la glicolisis como la fosfofructoquinasa (PFK), produciendo fatiga muscular cuando las cifras de ácido láctico son elevadas (3). La acumulación de lactato se metaboliza en los músculos activos e inactivos, corazón, hígado, y riñones después de los esfuerzos.

El incremento de la cantidad de lactato, no es causante directo la acidosis (3).

La acidosis generalmente asociada a la producción de lactato durante ejercicios extremos proviene de una reacción completamente distinta. Cuando se hidroliza el ATP, en ADP +P, se libera el catión hidrógeno. Este catión es el principal responsable de la disminución del pH. Durante la ejecución de un ejercicio físico continuado ocurren estas series de eventos metabólicos orgánicos relacionados con la intensa actividad muscular que se realiza.

En la prevalencia del estado de acidez que se manifiesta durante la práctica de una actividad física, intervienen diferentes compuestos ácidos que se producen durante los procesos metabólicos (4), (5). Estos pueden ser divididos en tres grupos.

### 1. Ácidos volátiles (ejemplo: $CO_2$ )

El  $CO_2$ , que es un producto final en la oxidación de los hidratos de carbono, grasas y proteínas dentro de la mitocondria, es considerado un ácido en virtud de su capacidad para reaccionar con agua y formar ácido carbónico ( $H_2CO_3$ ), el cual a su vez se disocia posteriormente para formar  $H^+$  y un ión bicarbonato ( $HCO_3^-$ ).

Durante el ejercicio, la tasa de producción metabólica de  $\text{CO}_2$  aumenta, y por lo tanto añade una carga de ácido al organismo, que se deberá eliminar a través de los pulmones.

### 2. Ácidos fijos (ejemplo: ácido sulfúrico y ácido fosfórico)

El ácido sulfúrico es un producto de la oxidación de ciertos aminoácidos, mientras que el ácido fosfórico se forma en el metabolismo de varios fosfolípidos y ácidos nucleicos.

Al contrario de lo que ocurría con el  $\text{CO}_2$ , la producción de estos ácidos no se ve muy afectada por el ejercicio.

### 3. Ácidos orgánicos (ejemplo: Ácido Láctico)

El ácido láctico y el ácido aceto-acético, se forman durante los procesos metabólicos de utilización de los hidratos de carbono y de las grasas, respectivamente. Normalmente, estos ácidos son metabolizados hasta eliminarse en forma de  $\text{CO}_2$  no teniendo influencia sobre el pH de los líquidos corporales, pero durante el ejercicio intenso, la gran producción de ácido láctico desemboca en una situación de acidosis. Así, en general la producción de ácido láctico provoca los mayores cambios para tratar de mantener el pH de los líquidos orgánicos.

## Relación dialéctica entre ácidos y bases

Un ácido como un compuesto químico que en solución se disocia y libera iones hidrógeno o hidrogeniones ( $\text{H}^+$ ). En este contexto, una base es un compuesto químico que en solución libera iones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ).

Una solución ácida contiene más cantidad de  $\text{H}^+$ , mientras que las soluciones básicas contienen más  $\text{OH}^-$ .

Consecuentemente, el determinante de que una solución sea ácida o básica es la concentración o número presente de  $\text{H}^+$ . Si el número de  $\text{H}^+$  excede al número de  $\text{OH}^-$ , entonces decimos que la solución es ácida; cuando ocurre que el número de  $\text{OH}^-$  excede al de  $\text{H}^+$ , la solución es básica.

## pH.

Para expresar la acidez o alcalinidad de una solución, se determina el número de  $\text{H}^+$  presentes en la solución. El número resultante se expresa como pH. Debido a los números tan pequeños en los que nos movemos, el pH de un líquido queda expresado como el logaritmo negativo de la concentración de  $\text{H}^+$  que dicho líquido contiene.

$$\text{pH} = -\log [\text{H}^+],$$

Donde  $[\text{H}^+]$  es la concentración o número de moles de  $\text{H}^+$  presente en un litro de solución.

El rango del pH sanguíneo compatible con la vida en nuestro organismo oscila entre 7,0 y 7,7 en reposo. El ejercicio hace que el pH tienda a disminuir, pudiendo llegar a cifras tan bajas como 6,4 - 6,6 durante ejercicios agotadores. Evidentemente estas cifras tan bajas de pH son transitorias, recuperándose con rapidez el pH normal gracias a la participación de los sistemas amortiguadores del sistema respiratorio y renal.

Al contrario de lo que ocurriría con el CO<sub>2</sub>, la producción de estos ácidos no se ve muy afectada por el ejercicio.

### **Regulación respiratoria del pH**

El aumento de la concentración de CO<sub>2</sub> en los líquidos corporales (el cual se combina con H<sub>2</sub>O para formar ácido carbónico) provoca una disminución del pH; la eliminación del CO<sub>2</sub> provocará un aumento del pH. El incremento de la concentración de H<sup>+</sup> supone un estímulo importante del sistema respiratorio que desencadena un aumento de la ventilación (hiperventilación) y favorece la eliminación de CO<sub>2</sub>. Inversamente, un descenso en la concentración de H<sup>+</sup> disminuirá la estimulación del sistema respiratorio. Una hiperventilación equivalente a una tasa doble de lo que es normal en reposo, provocará que el pH sanguíneo y de los líquidos corporales aumente tanto como 0,25 unidades de pH. Por otra parte, cuando la ventilación se reduce a la mitad de lo normal en reposo (como ocurre cuando el pH es mayor de 7,4), el pH desciende alrededor de 0,25 unidades de pH. La capacidad del sistema respiratorio como sistema búfer es una a dos veces mayor que dé del resto de los sistemas.

### **Reserva alcalina**

El grado en el que se ve afectado el pH de los líquidos corporales por el acúmulo de CO<sub>2</sub> y la consiguiente formación de ácido carbónico depende de la cantidad de bicarbonato (HCO<sub>3</sub>) disponible. Actualmente el pH de los líquidos orgánicos se define por la relación entre la concentración de HCO<sub>3</sub> y la concentración de CO<sub>2</sub>

Algunos estudios han intentado aumentar el rendimiento en pruebas anaeróbicas mediante la administración exógena de HCO<sub>3</sub>, suponiendo que de esta forma aumentaría la capacidad buffer, pero los resultados positivos que muchos de esos estudios muestran hay que asumirlos con reservas, ya que dependen de la población estudiada, del test o prueba realizada, de la dosis recibida, etc.

Se ha publicado recientemente, la posibilidad de que el lactato pueda contribuir a un efecto alcalinizante, ya que es un anión y no contiene hidrógeno (3)

### **El riñón y el equilibrio ácido-base**

El riñón regula la concentración de H<sup>+</sup> a través de una serie complicada de reacciones químicas y mecanismos de transporte activo. El principal medio por el cual el riñón regula la concentración de H<sup>+</sup> es incrementando o disminuyendo la concentración de bicarbonato.

1. El CO<sub>2</sub> de los líquidos extracelulares y de la célula epitelial de los túbulos renales se combina con H<sub>2</sub>O, y en presencia de la enzima anhidrasa carbónica forma H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> en la célula tubular.

2. El  $\text{H}_2\text{CO}_3$  se disocia en  $\text{HCO}_3^-$  y  $\text{H}^+$ . Este último es transportado de forma activa o secretado al interior de la luz del túbulo renal, desde donde es excretado en la orina como agua. El ión bicarbonato difunde al líquido extracelular conservándose de esta forma en el organismo.

3. En los túbulos del riñón, los  $\text{H}^+$  secretados se combinan con  $\text{HCO}_3^-$  formando en la luz  $\text{H}_2\text{CO}_3$ , el cual se disocia en  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$ . El  $\text{CO}_2$  difunde a la célula tubular y/o al líquido extracelular. El  $\text{H}_2\text{O}$  se elimina con la orina. Hay que destacar también, cómo los iones sodio ( $\text{Na}^+$ ) son conservados en el túbulo pasando al líquido extracelular mediante un sistema de transporte activo. Este cambio entre  $\text{Na}^+$  y  $\text{H}^+$  mantiene el balance eléctrico entre los líquidos tubular y extracelular.

El sistema renal es lento en su ejecución como sistema amortiguador del equilibrio ácido-base en nuestro organismo, requiriendo entre 10 y 20 horas para iniciar una actuación eficaz.

### **Balance ácido-base durante el ejercicio intenso**

Durante el ejercicio máximo de corta duración, se producen grandes cambios en el balance ácido-base del organismo, debido a la gran producción de ácido láctico que provoca un descenso importante en el pH sanguíneo e intramuscular, alcanzándose valores de hasta 7,0 en sangre y 6,4 en el interior del músculo.

Hay que destacar que aunque el pH sanguíneo y muscular tienen tendencias de comportamiento similares durante la realización de ejercicios intensos, presentan diferencias de entre 0,4 y 0,6 unidades de pH a favor del pH sanguíneo (es decir, los valores de pH muscular son siempre menores que los del pH sanguíneo). Esto es debido a que las concentraciones de ácido láctico son más elevadas en el interior del músculo que en la sangre, y que la capacidad buffer intramuscular es menor que la de los sistemas buffer en la sangre.

Ya que la primera fuente de  $\text{H}^+$  producidos durante el ejercicio es el ácido láctico, parece lógico que la primera línea de defensa en contra de un aumento en la producción de ácido láctico resida en el propio músculo. Se ha estimado que las proteínas intracelulares contribuyen con un 60% de la capacidad buffer de la célula, con un adicional 20-30% de la capacidad buffer total procedente del bicarbonato muscular. El 10-20% restante de la capacidad buffer procede de los grupos fosfatos intracelulares.

A pesar de que la capacidad buffer muscular es limitada, la sangre posee además importantes sistemas amortiguadores. Como se ha dicho, el principal buffer extracelular y quizá el más importante del organismo es el bicarbonato sanguíneo, jugando un papel menos importante la hemoglobina y el resto de las proteínas.

Parece razonable admitir que el descenso del pH puede ser un factor limitante en el desarrollo del ejercicio de alta intensidad. Los seres humanos son capaces de tolerar temporalmente alteraciones importantes del equilibrio ácido-base, con cifras de pH tan bajas como 6,8. El grado de acidosis con pH menores de 7,0, se puede soportar con algunas manifestaciones clínicas como mareos, cefaleas, así como dolor en los grupos musculares involucrados en el ejercicio.

Las concentraciones de lactato basal en reposo, en sangre se sitúa entre 1 a 2 mmol/L, mientras que en ejercicios intensos se pueden hallar concentraciones superiores a 20 mmol/ L. (4,8)

Los deportistas que poseen un porcentaje elevado de fibras musculares rápidas, tienen una mayor capacidad de producir lactato. La mayor producción de ácido láctico se obtiene en ejercicios intensos  $\geq 97\%$  de su mejor registro en una distancia o en la ejecución de una disciplina deportiva. La producción mayor se puede obtener entre 30" a los 2'30". Posterior a los 2'30" de realizar un ejercicio intenso, empieza a disminuir el nivel de lactato, ya que las reservas de glucógeno disminuyen de forma importante, unida a la caída del pH, debido al incremento de la producción de iones de H<sup>+</sup> (2)

Los valores de lactato en el entrenamiento, sirven como referencias de la intensidad del ejercicio, y en unión al % de la frecuencia cardiaca máxima que obtiene el atleta, así como del % de intensidad del ejercicio del mejor tiempo que ejecuta el deportista, unido a otras variables permite evaluar el cumplimiento del entrenamiento y en qué área funcional de la intensidad del entrenamiento se encuentra el deportista. (2, 3)

Una de las variables utilizadas para diferenciar las áreas funcionales de intensidad del ejercicio es la producción del lactato según las clasificaciones de diferentes autores. Por ejemplo el Dr. Pancorbo (2) en su propuesta considera las áreas de intensidad: resistencia regenerativa, umbral aeróbico, umbral anaeróbico, potencia aeróbica, potencia anaeróbica láctica, capacidad anaeróbica láctica, potencia anaeróbica aláctico, máxima o competitiva.

El entrenamiento deportivo dota al atleta de la capacidad de mejorar los sistemas buffer del organismo, es así que existen deportistas con la capacidad individual de tolerar concentraciones mayores de ácido láctico y menores pH sanguíneos, en comparación a las condiciones previas al entrenamiento.

Se describe que, la mayor resistencia frente a situaciones acidóticas puede estar relacionada con influencias motivacionales, ya que puede que el hecho de enfrentarse constantemente durante los entrenamientos a descensos acusados del pH, modifique la aptitud del sujeto para resistir las consecuencias adversas y tolerar el trabajo físico en esas condiciones.

Una forma de protección del organismo para evitar lesiones de carácter local o de afectación global, es que cuando se produce valores elevados de lactato con la producción de gran cantidad de iones de H<sup>+</sup> y la caída del pH, es que esta acidez produce una disminución de la frecuencia y calidad de la contracción muscular, ya que se dificulta el deslizamiento de la actina sobre la miosina, lo que hace disminuir el ritmo del esfuerzo (2).

Con interiorización en los mecanismos de equilibrio ácido-básico durante el ejercicio y el papel que juega el ácido láctico en el mismo, en el trabajo se llegan las siguientes conclusiones: En los sistemas de tamponamiento o regulación del equilibrio ácido básico durante el ejercicio físico, el lactato, no tiene una influencia directa en los valores del pH. Las concentraciones de iones H<sup>+</sup> consecuencia de la hidrólisis del ATP en ADP+P, es la responsable de la acidosis que se produce en los ejercicios de gran intensidad. Con el aumento de la

intensidad del ejercicio, las concentraciones de lactato pasan a tener una relación causa-efecto que provoca disminución de la actividad y la aparición de la fatiga, en dependencia del nivel de entrenamiento, de la intensidad del esfuerzo y de su duración, así como de la maestría deportiva individual del atleta. La producción del lactato permite conocer el nivel de esfuerzo realizado por el deportista, así como en qué área de intensidad del ejercicio ha entrenado. El control terminológico y semántico en el uso de los términos, lactato y Ácido Láctico, es de suma importancia para evitar cometer errores conceptuales en el uso de los mismos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1-. González ME” Introducción a la Fisiología de Ejercicio. Homeostasis y Sistemas de Regulación”. En Fisiología del Ejercicio. Recopilación temática del programa docente de la especialidad de Medicina del Deporte. (versión electrónica) Ciudad de La Habana: IMD; 2003p. 6-15.
- 2-. Pancorbo Sandoval, A: Medicina y Ciencias del deporte y Actividad Física, Editorial Ergon Madrid, 2008. Capítulos 1, 2 y 13
- 3-. Billat Y. Use of blood lactate measurements for predictions of exercise performance and control or training. Sport and Medicine 1996; 22 (3): p157-175
- 4-. Díaz Martínez, AE. Criterios de Aplicación del control del Lactato en los Test de Campo. En Gutierrez F y colaboradores. Análisis, valoración y monitorización del entrenamiento deportivo de Alto Rendimiento. Edit Coelcción ICD 56. Consejo Superior de Deportes. España Dic 2010: p271-297
- 5-. López Chicharro J, Fernández Vaquero, A. Fisiología del ejercicio. Equilibrio ácido-base en el ejercicio: Editorial médica panamericana; 2da edición. Sept 2006
- 6- López Chicharro J, Legido Arce JC. Umbral Anaeróbico. Bases Fisiológicas y aplicación. Editorial médica interamericana- McGraw-Hill; 1991
- 7-. Leo Hernández. Reguladores de la adaptación bioquímica en el proceso de entrenamiento deportivo. [www.dgeu.gov.mx/cv-1hr.doc](http://www.dgeu.gov.mx/cv-1hr.doc)
- 8-. Payano, Benjamín. La Fisiología del Lactato y el Entrenamiento en Deportes Terminología y Conceptos Básicos ¿Qué es el lactato? <http://www.terra.com.do/saluddominicana/ejercicios/e01-12-01.htm>