

Revista Mexicana de Cardiología

Volumen
Volume **10**

Número
Number **3**

Abril-Junio
April-June **1999**

Artículo:

Consumo de lactato sérico por el miocardio y metabolismo del músculo esquelético

Derechos reservados, Copyright © 1999:
Asociación Nacional de Cardiólogos de México, AC

Otras secciones de este sitio:

- ☞ Índice de este número
- ☞ Más revistas
- ☞ Búsqueda

Others sections in this web site:

- ☞ *Contents of this number*
- ☞ *More journals*
- ☞ *Search*



Medigraphic.com

Consumo de lactato sérico por el miocardio y metabolismo del músculo esquelético

Alberto Rangel*

La figura 1 muestra el consumo de lactato por el miocardio, expresado como extracción porcentual de lactato sérico por el miocardio, en tres pacientes y en tres condiciones diferentes: A) antes y después de la perfusión de un simpático mimético (Levofed), B) durante el *angor pectoris* y posterior al suministro de nitroglicerina y C) antes y después de incrementar la frecuencia cardíaca por medio de un marcapaso artificial, lo que coincidió con *angor pectoris* en el paciente.

CUESTIONARIO

1. Para la determinación de la extracción de lactato por el miocardio es imprescindible el muestreo simultáneo de la sangre de:

- A. La arteria coronaria descendente anterior y la arteria pulmonar.
 B. La aurícula derecha y la vena del seno coronario.
 C. Una arteria periférica y la vena del seno coronario.
 D. La arteria coronaria descendente anterior y el seno coronario.
 E. Una arteria coronaria cualquiera y la vena del seno coronario.

2. El por ciento de extracción de lactato por el miocardio es:

- A. La diferencia arteriovenosa de lactato miocárdico (La-Lv).
 B. Lo opuesto a la producción de lactato por el miocardio.

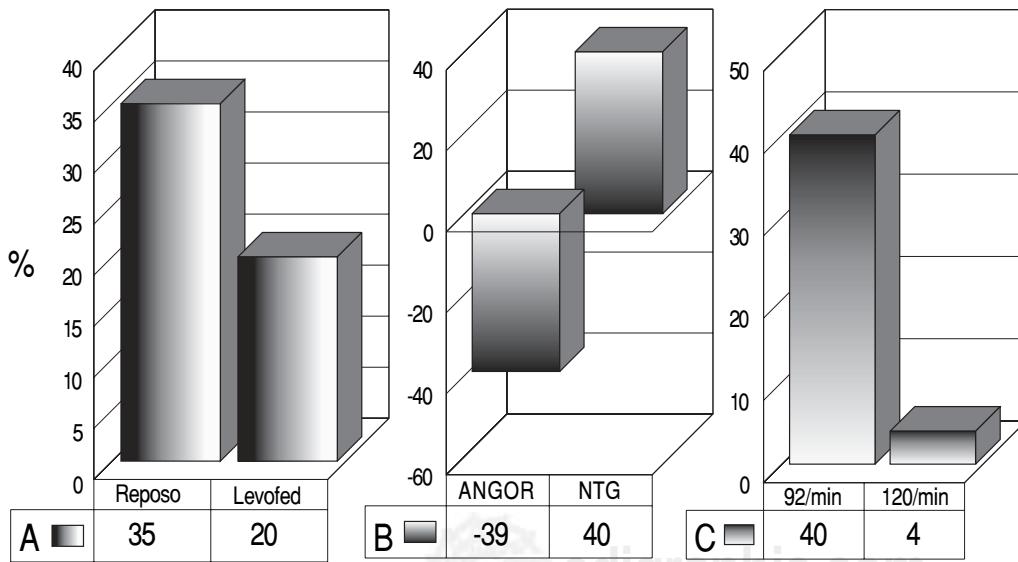


Figura 1. Extracción de lactato miocárdico.

* Departamento de Hemodinamia. Hospital de Especialidades, Centro Médico "La Raza", IMSS, México, D.F.

- C. El cociente de la diferencia arteriovenosa de lactato miocárdico y el lactato arterial $(La-Lv)/La$.
D. $(La-Lv/ La) \times 100$.
E. Son verdaderas B y D.
3. En el humano normal, en reposo y ayuno, el miocardio consume preferentemente:
A. Ácidos grasos, carbohidratos, cuerpos cetónicos y aminoácidos.
B. Carbohidratos, ácidos grasos y aminoácidos.
C. Aminoácidos, carbohidratos y ácidos grasos.
D. Cuerpos cetónicos, ácidos grasos y carbohidratos.
E. Carbohidratos y cuerpos cetónicos.
4. La sonda originalmente diseñada para obtener las muestras sanguíneas para la determinación del metabolismo o del flujo sanguíneo miocárdicos es el catéter de:
A. Eppendorf.
B. Berman.
C. Goodale-Lubin.
D. Shirey.
E. Cournand.
5. Normalmente, el músculo miocárdico:
A. Presenta deuda de O_2 muy exigua.
B. Normalmente, no se fatiga.
C. Se diferencia del músculo esquelético porque paga de inmediato su gasto energético.
D. Son todas ciertas.
E. Son todas falsas.
6. Normalmente, a diferencia del miocardio, el músculo esquelético:
A. Tiene mayor número de mitocondrias.
B. Repone rápidamente el ATP utilizado.
C. No acumula lactato.
D. Posee inervación motora.
E. Son ciertas A, B y D.
7. La deuda de O_2 celular:
A. Es debida a la imposibilidad de reponer, a través del metabolismo oxidativo, el ATP utilizado durante períodos prolongados y exhaustivos de actividad.
B. Es el periodo en el que permanece elevado el consumo de O_2 tisular, desde el inicio de la actividad hasta la recuperación o reposo posteriores a la actividad.
C. Es el periodo utilizado en reponer el ATP y CrP.
- D. Es el periodo utilizado en metabolizar el exceso de lactato.
E. Son ciertas B y D.
F. Todas son ciertas.
8. De la figura 1A se infiere que:
A. Es normal la extracción de lactato por el miocardio tanto en reposo, como después de la perfusión de Levofed.
B. Es anormal la respuesta en la extracción de lactato miocárdico después del suministro de Levofed.
C. La magnitud en la disminución en la extracción de lactato durante la perfusión del Levofed es indicativa de isquemia del miocardio.
D. Es anormal la elevada extracción de lactato miocárdico en reposo.
E. Está disminuida la producción de lactato miocárdico durante la perfusión de Levofed.
9. Las cifras negativas en la extracción de lactato sérico por el miocardio indican:
A. Mayor producción que consumo de lactato por el miocardio.
B. Error en los cálculos.
C. Error en las determinaciones.
D. Disminución en el lactato sérico.
E. Que deben utilizarse valores "absolutos".
10. De la figura 1B se infiere:
A. Disminución en la extracción de lactato miocárdico durante la angina de pecho es indicativa de anaerobiosis.
B. Presencia de anoxia tisular ante las cifras negativas en la extracción de lactato.
C. Aumento de la producción de lactato miocárdico durante el *angor pectoris*.
D. Reperfusión miocárdica y recuperación del metabolismo aeróbico con el vasodilatador.
E. Sólo es falsa C.
F. Todas son ciertas.
11. La figura 1C sugiere:
A. Agotamiento de la glucosa miocárdica al aumentar la frecuencia cardiaca.
B. Disminución del metabolismo oxidativo al aumentar la frecuencia cardiaca.
C. Aceleración del consumo de ácidos grasos coincidente con el aumento de la frecuencia cardiaca.
D. Fatiga miocárdica.
E. Disminución en la entrega de O_2 al miocardio, debida al acortamiento del periodo diastólico secundario a la taquicardia.

12. El ciclo metabólico de los cambios mostrados en la figura 1 es el ciclo de:
- Desvío metabólico pentosa monofostato.
 - Cori.
 - Krebs.
 - Embden-Meyerhof.
 - Ácido cítrico.
13. El exceso en la producción de lactato mostrado en las gráficas de la figura 1B y C:
- Es normal durante el aumento de trabajo cardíaco.
 - Es signo de anaerobiosis miocárdica.
 - Es signo de infarto del miocardio.
 - Es debido a la imposibilidad en el ingreso de este metabolito al ciclo del ácido tricarboxílico.
 - Son ciertas B y D.
 - Son ciertas B y C.
14. ¿Si el peso molecular de lactato (Na) es 112, cuántos mg dL⁻¹ equivalen 8 mM L⁻¹ de lactato sérico encontrado en un individuo?
15. El valor del lactato sérico del problema anterior:
- Es propio de la acidosis láctica en el enfermo con enfisema pulmonar grado II.
 - Es el valor máximo tolerable en un atleta entrenado para el ejercicio extremo.
 - Sólo se observa en la tirotoxicosis.
 - Todas son verdaderas.
 - Todas son falsas.
16. En la actualidad, la determinación de lactato miocárdico es utilizada para:
- Diagnosticar la isquemia miocárdica ambulatoria.
 - Dilucidar el diagnóstico de infarto miocárdico sin evidencia electrocardiográfica de onda Q.
 - Confirmar las regiones del miocardio afectadas por isquemia secundaria a estenosis arteriales coronarias.
 - Confirmar la isquemia miocárdica secundaria a ectasia arterial coronaria y valorar la terapéutica con anticoagulantes.
 - Documentar el diagnóstico del síndrome X.

COMENTARIOS

Los músculos esqueléticos de los vertebrados pueden ser de dos clases: a) aquellos que normalmente “pagan al contado por el esfuerzo desempeñado”, ricos en mitocondrias y provisiones suficientes para

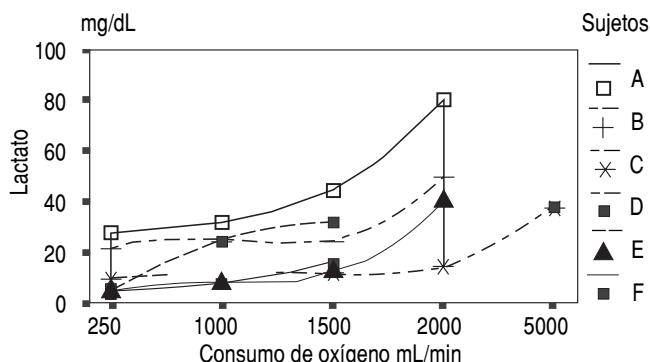


Figura 2. Producción de lactato arterial durante el ejercicio muscular.

desencadenar el mecanismo oxidativo capaces de responder el ATP tan rápido como sea utilizado y cualquiera que sea el nivel de trabajo, como en el caso de los músculos de las alas de los colibríes y b) aquellos que se fatigan, que “pagan su esfuerzo en abonos” (*contraígase ahora y pague después*); músculos que, en plena actividad, no cuentan con un mecanismo oxidativo capaz de generar suficiente ATP para cubrir las demandas y evitar su agotamiento a través del ciclo aeróbico y por lo tanto son incapaces de cubrir las demandas de energía. En este caso, los efectos combinados del agotamiento de ATP y CrP, así como de la acumulación de lactato llevan a la fatiga, situación que revierte durante los períodos de reposo o recuperación, durante los cuales es “pagada la deuda adquirida de O₂”. La figura 2 muestra el incremento de lactato sérico secundariamente al incremento en el ejercicio muscular impuesto a la altitud de la Ciudad de México a un grupo de atletas de alto rendimiento. La concentración de lactato en la vena del seno coronario nunca llega a ser tan alta durante la anaerobiosis miocárdica como las cifras séricas de este metabolito durante el ejercicio muscular. Así que, entre la aerobiosis y la anaerobiosis, la producción de lactato miocárdico oscila aproximadamente entre 5 y 30 mg dL⁻¹ ó entre 0.5 y 2 mM mL⁻¹.

El músculo esquelético es neurogénico, en virtud de que su control depende de la inervación motora que posee. Si bien, la regulación del músculo cardíaco de los vertebrados depende de factores extrínsecos simpáticos y parasimpáticos, su carácter es miogénico, lo que le da la “ventaja” de autorritmidad. A diferencia de la musculatura esquelética, el miocardio no requiere períodos de reposo ni adquiere “deuda de O₂”. En el humano normal, en reposo y en ayunas, 60% del gasto energético del miocardio

proviene del metabolismo de los ácidos grasos, 35% de los carbohidratos y 5% de los cuerpos cetónicos y aminoácidos. En el *postprandium*, las concentraciones de glucosa e insulina sanguíneas están elevadas y bajas las concentraciones de ácidos grasos, de donde la glucosa, en este caso, es la mayor fuente energética del miocardio (cociente respiratorio para el consumo de glucosa 0.9). Lo contrario ocurre en el individuo en ayunas, en que mayor fuente energética son los ácidos grasos (cociente respiratorio 0.6). El cociente respiratorio es la razón entre la producción y consumo de O_2 .

En el metabolismo aeróbico, glucógeno y glucosa se convierten en glucosa-6 fosfato que, a través del proceso de glicólisis, se degrada hasta piruvato para entrar al ciclo de Krebs. En la anaerobiosis, el corazón acelera la glicólisis, siendo el producto final el lactato; en este caso, los ácidos grasos no son utilizados.

Cincuenta por ciento del lactato circulante en sangre arterial es utilizado normalmente por el corazón. Normalmente, en condiciones de estrés el corazón disminuye el consumo de lactato a cifras no menores de 10%. En la figura 1A se observa la respuesta normal en la extracción miocárdica de lactato en reposo y bajo la acción del Levofed. En las tres gráficas de la figura 1, el 100% del lactato equivale al lactato sérico ofrecido al miocardio por la sangre arterial.

En condiciones de hipoxia o anoxia, el miocardio no sólo reduce el consumo o extracción de lactato a cifras menores de 10%, sino incluso a cifras negativas (Figura 1B), lo que indica que, además de no ser consumido, el lactato está siendo producido por el miocardio al acelerarse e incrementarse la glicólisis anaeróbica a través del ciclo de Embden-Meyerhof y es a través de este ciclo que el corazón obtiene energía en ausencia de O_2 . Esta situación coincide con el *angor pectoris* y con signos electrocardiográficos de isquemia miocárdica en el paciente; síntomas y signos que revierten al aumentar el flujo sanguíneo y el aporte de O_2 miocárdicos mediante la acción de un vasodilatador coronario (Figura 1B).

Así pues, la isquemia del miocardio está asociada a la glicólisis anaeróbica y a la producción resultante de lactato. El ciclo metabólico de Embden-Meyerhof es un mecanismo que surge en condiciones de urgencia, cuando la ausencia o disminución de O_2 impiden o abaten la anaerobiosis a través del ciclo Krebs, a pesar de que sólo produce 4 moléculas de ATP por cada molécula de glucosa, en lugar de las 36 producidas por el ciclo de Krebs.

En virtud de que el músculo cardíaco es eminentemente aeróbico, es incapaz de tolerar períodos prolongados de isquemia, pues, aún períodos cortos de hipoxia causan manifestaciones objetivas y subjetivas en el paciente. Normalmente, el metabolismo cardíaco es aeróbico y no adquiere deuda de O_2 como lo hace el músculo esquelético.

En las primeras etapas de incremento paulatino del trabajo, el metabolismo del músculo esquelético es aeróbico y cambia a anaerobiosis cuando el trabajo muscular alcanza cierto nivel: el músculo esquelético produce ácido láctico, cuyo exceso es metabolizado durante la recuperación. El consumo de O_2 en el músculo esquelético se eleva en proporción al trabajo desempeñado y permanece elevado mucho después de terminado el trabajo. Durante el periodo de recuperación se repone el ATP y se metaboliza el lactato en exceso. El descenso exponencial en el consumo de O_2 coincide con la oxidación exponencial del lactato durante el periodo de recuperación. La curva representativa del descenso paulatino en el consumo de O_2 es exponencial doble, lo que sugiere la presencia de dos compartimentos: La primera fase se repone el ATP y en la segunda es oxidado el exceso de lactato.

En la figura 3A se observa el incremento inmediato, por encima de sus valores de reposo, en el consumo de O_2 ($\dot{V}O_2$) al comienzo del ejercicio (fase 1); el consumo de O_2 permanece elevado en tanto dure el ejercicio y en tanto la carga de trabajo se mantenga constante (fase 2). Una vez que termina el ejercicio, el consumo de O_2 no desciende de inmediato a los va-

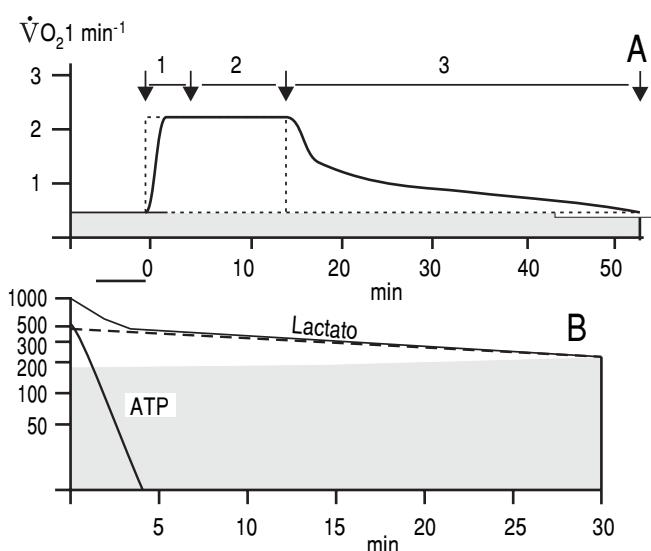
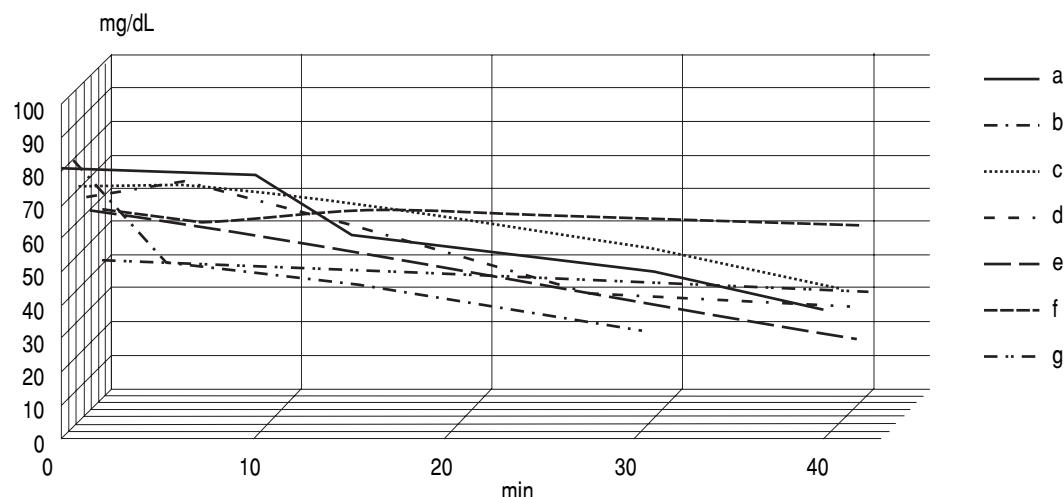


Figura 3.



Nota. El desarrollo del cálculo porcentual de la extracción de lactato por el miocardio (Le %) es el siguiente: Si la concentración arterial de lactato (La) representa el 100% de este metabolito ofrecido al tejido miocárdico, ¿qué por ciento representa la diferencia arteriovenosa (La-Lv) del lactato?

$$Le\% = \frac{La - Lv}{La} \times 100$$

Donde, v = sangre de la vena del seno coronario

Figura 4. Producción de lactato arterial durante el ejercicio muscular.

lores de reposo, si no que lo hace lenta y exponencialmente durante la recuperación (fase 3).

A primera vista, parece que la curva de recuperación es del tipo exponencial doble, con dos pendientes de caída. Al descomponer geométricamente la curva y extraer sus componentes (llevar las pendientes al eje de las abscisas), se observa un componente rápido que corresponde a la reposición de ATP y un componente lento correspondiente a la oxidación del lactato y resíntesis de glicógeno (*Figura 3B*). En la *figura 4* se observa el descenso de lactato sérico después del ejercicio (*Figura 2*). Contrariamente a la elevada producción de lactato por el músculo esquelético, el miocardio produce muy poco lactato en la anaerobiosis.

RESPUESTAS

- 1.C, 2.E, 3.A, 4.C, 5.D, 6.D,
 7.F, 8.A, 9.A, 10.F, 11.B, 12.D,
 13.E, 14.1 M L⁻¹ de lactato (Na)= 112 g L⁻¹.
 1 mM L⁻¹ de lactato (Na)= 0.112 g⁻¹ ó
 112 mg dL⁻¹ 8 mM L⁻¹ de lactato
 (Na)= 8x112= 896 mg L⁻¹= 89.6 mg
 dL⁻¹

15. E y 16.E

Dirección para correspondencia:

Dr. Alberto Rangel
 Hospital de Especialidades
 Centro Médico La Raza, IMSS
 México, D.F.