

PRODUCCIÓN DE LACTATO Y METABOLISMO ANAERÓBICO

Pocos temas en la bioquímica del ejercicio han sido tan mal comprendidos históricamente como el lactato. Durante décadas se le consideró un simple producto de desecho, responsable del dolor muscular. La investigación moderna ha demostrado que el lactato es, en realidad, un mecanismo bioquímico esencial que permite que la glucólisis continúe produciendo ATP cuando la demanda energética supera la capacidad oxidativa del músculo (Brooks, 2018; McArdle et al., 2022).



Dato clave

El músculo humano produce lactato de forma continua, incluso en reposo. Lo que cambia con la intensidad del ejercicio no es que el lactato “aparezca”, sino que su producción supera su remoción, provocando que su concentración en sangre se eleve por encima del nivel basal (McArdle et al., 2022).

La vía glucolítica anaeróbica y la producción de lactato

Cuando la glucólisis produce piruvato más rápido de lo que la mitocondria puede procesarlo —ya sea por falta de oxígeno o por la elevada velocidad de la glucólisis durante el ejercicio intenso— el NADH generado se acumula y la vía se detendría por falta de NAD^+ disponible. La **lactato deshidrogenasa (LDH)** resuelve este problema reduciendo el piruvato a lactato y regenerando NAD^+ en el proceso: **Piruvato + NADH + H^+ $\rightleftharpoons$ Lactato + NAD^+** . Esta reacción no produce ni consume ATP directamente; su función es exclusivamente permitir que la glucólisis continúe generando ATP (Lehninger et al., 2021).

Existen cinco isoformas de la LDH, con distribución tisular específica: la **LDH-5**, predominante en el músculo esquelético de contracción rápida, favorece la formación de

lactato; la **LDH-1**, predominante en el corazón, favorece su oxidación a piruvato (Chamorro, 2018).

El destino del lactato: ciclo de Cori y lanzadera de lactato

Lejos de ser un desecho, el lactato producido en el músculo tiene al menos dos destinos metabólicos productivos (Brooks, 2018):

- **Ciclo de Cori:** el lactato liberado a la sangre llega al hígado, donde se reconvierte en piruvato y, mediante gluconeogénesis, se transforma nuevamente en glucosa, que puede liberarse a la circulación para ser utilizada por el músculo. Este ciclo conecta el metabolismo muscular y hepático durante el ejercicio prolongado.
- **Lanzadera de lactato (lactate shuttle):** el lactato producido en fibras musculares de contracción rápida puede ser captado —mediante los transportadores de monocarboxilato MCT1 y MCT4— por fibras de contracción lenta adyacentes, por el corazón o por otros músculos activos, donde se oxida como combustible en la mitocondria.

Esta comprensión moderna, propuesta por George Brooks, transformó la visión del lactato: de ser considerado un producto tóxico causante de la fatiga, pasó a entenderse como una fuente de energía intercambiable entre tejidos (Brooks, 2018).

Umbral de lactato y su relevancia en el entrenamiento

El **umbral de lactato** (también llamado punto de inicio de la acumulación de lactato en sangre, *OBLA*) es la intensidad de ejercicio a partir de la cual la concentración de lactato en sangre comienza a elevarse de forma no lineal por encima del nivel de reposo, típicamente entre 2 y 4 mmol/L. Representa el punto en que la producción de lactato supera claramente su capacidad de remoción (Powers & Howley, 2017).

El umbral de lactato es uno de los mejores predictores del rendimiento en pruebas de resistencia, a menudo más útil que el VO_2max , porque refleja la intensidad máxima que un atleta puede sostener en estado estable. El entrenamiento sistemático desplaza el umbral hacia intensidades relativas más altas, gracias al aumento de la densidad mitocondrial, de la actividad de la LDH-1 y de la capacidad de los transportadores MCT (McArdle et al., 2022).

Tabla. Conceptos clave del metabolismo del lactato

Concepto	Descripción	Relevancia deportiva
Lactato	Producto de la reducción del piruvato por la LDH	Permite que la glucólisis continúe generando ATP
Ciclo de Cori	Reconversión hepática de lactato en glucosa	Mantiene la glucemia en ejercicio prolongado
Lanzadera de lactato	Transporte de lactato entre fibras y órganos vía MCT	Aprovecha el lactato como combustible oxidativo
Umbral de lactato	Intensidad donde el lactato se acumula de forma no lineal	Predictor clave del rendimiento de resistencia

Nota. Conceptos clave del metabolismo del lactato. Adaptado de Brooks (2018) y Powers y Howley (2017).

Aplicación deportiva — Medición del umbral de lactato

Las pruebas de esfuerzo incremental con toma de muestras capilares de lactato son una herramienta habitual para diseñar zonas de entrenamiento personalizadas. Entrenar justo por debajo, en o por encima del umbral de lactato produce adaptaciones fisiológicas distintas, lo que permite periodizar el entrenamiento de resistencia con mayor precisión (Powers & Howley, 2017).

Ejemplo Integrador: una prueba de 800 metros

Los 800 metros son, desde el punto de vista metabólico, una de las pruebas más exigentes del atletismo: duran entre 1 minuto 40 segundos y 2 minutos 10 segundos a una intensidad cercana al máximo. Tras el agotamiento inicial de la fosfocreatina, la glucólisis anaeróbica se convierte en la vía dominante, generando ATP con rapidez, pero produciendo lactato a un ritmo que supera ampliamente la capacidad de remoción del organismo. La acidosis resultante inhibe la PFK-1 y explica la característica pérdida de velocidad en el último tramo de la carrera, un patrón bioquímico distinto al de pruebas más cortas (dominadas por los fosfágenos) o más largas (dominadas por el metabolismo oxidativo) (McArdle et al., 2022).

