

I. N. E. F. - BARCELONA

Departamento de Ciencias Médicas

Modificaciones bioquímicas durante el esfuerzo

Dentro de las modificaciones bioquímicas producidas durante el esfuerzo deportivo vamos a realizar una puesta al día del tema a cargo de los profesores y colaboradores del I. N. E. F. de Barcelona en el ámbito de la fisiología, BALAGUE LOPEZ, BARBANY CAIRO y COMPANY BERGE, y que comprenderá:

1.º *Metabolismo lipídico en el ejercicio.*

2.º *Metabolismo de los glúcidos durante el esfuerzo.*

3.º *Modificaciones endocrinas y enzimáticas durante la actividad física.*

Es importante que incorporemos a nuestros trabajos de la investigación clínica en relación con el esfuerzo deportivo, aquellas investigaciones de laboratorio en especial relacionadas con la bioquímica y que continuamente aportan nuevos datos por las experiencias realizadas y que sin duda han de contribuir a un enriquecimiento en su aplicación práctica.

I. METABOLISMO LIPIDICO EN EL EJERCICIO

Por X. COMPANY BERGÉ, J. R. BARBANY CAIRÓ Y A. BALAGUÉ LÓPEZ.

Estudiaremos a continuación las características de la utilización de lípidos por el músculo durante el reposo y el ejercicio. En un próximo trabajo analizaremos las modificaciones del metabolismo glucídico y finalmente describiremos los mecanismos hormonales que explican el conjunto de cambios bioquímicos durante el esfuerzo.

Los lípidos se almacenan en el organismo como triglicéridos en los correspondientes tejidos de reserva adiposa. Constantemente y por la acción de lipasas se liberan ácidos grasos libres (FFA) a la sangre, a partir de estas reservas. Los ácidos grasos libres siguen un doble destino: o bien son utilizados por la célula directamente para la obtención de energía, a través de la beta-oxidación mitocondrial, o bien son resintetizados en el hepatocito, nuevamente a triglicéridos o fosfolípidos. El destino de estos compuestos de resíntesis es complejo y escapa del objeto de este trabajo.

Por el proceso de la beta-oxidación, la mitocondria es capaz de obtener energía a partir de los ácidos grasos. En cada vuelta del ciclo de la beta-oxidación, se separa de la cadena de ácido graso una pieza de dos carbonos (radical acetilo), que ingresa en el ciclo de KREBS para

su transformación final en CO_2 y H_2O . El rendimiento energético de la oxidación de los ácidos grasos (aunque variable especialmente en función de la longitud de la cadena), es considerablemente superior al de la glucosa.

Desde hace relativamente poco tiempo, se ha empezado a reconocer la gran importancia que poseen los lípidos en general, y más concretamente los ácidos grasos, en el metabolismo del músculo en ejercicio. Es importante recordar en tal sentido que las reservas de glucosa sanguínea y de glucógeno muscular son limitadas. Los lípidos suministran la mayor parte de la energía durante largos períodos de trabajo submáximo, como se comprueba por el progresivo descenso del Cociente Respiratorio después de varias horas de trabajo, demostrativo de un consumo incrementado de grasas.

Los FFA circulantes, son fuente de energía esenciales para la fibra muscular. Ello es especialmente importante en estado de reposo, en que abastecen el 85 % del total de la demanda energética de la fibra, contribuyendo la glucosa sólo con el 15 %. El ayuno aumenta todavía

más el porcentaje de consumo de FFA plasmáticos por la fibra muscular (1).

Esta situación se modifica sin embargo, con la entrada del músculo en actividad. Según las características del ejercicio y en especial de los parámetros intensidad y duración, el metabolismo del músculo será predominantemente glucídico o lipídico (Cuadro I).

TIPO DE SUSTRATO OXIDADO POR EL MUSCULO EN REPOSO Y DURANTE EL EJERCICIO

1.º *Reposo*: Casi exclusivamente ácidos grasos libres (FFA).

2.º *Ejercicio*: Muy variable, según diversos factores; estado nutricional, dieta, entrenamiento, tipo y características del esfuerzo, etc.

En general:

A) *Ejercicio débil y moderado*.

- Ácidos grasos esencialmente.
- Glucosa predomina sólo en la fase inicial.

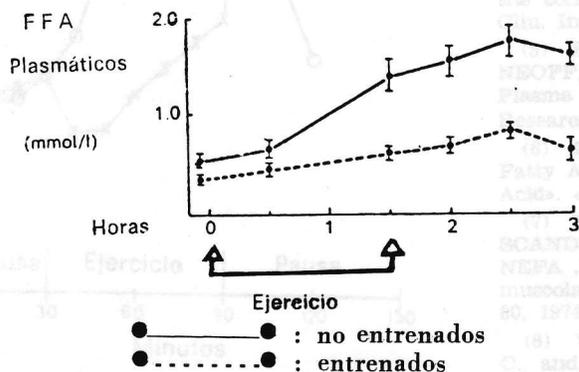
B) *Ejercicio intenso*.

- Glucosa predominantemente.
- Ácidos grasos aumentando progresivamente con la duración del esfuerzo.

En consecuencia, una de las formas de estudiar el papel metabólico de los ácidos grasos libres en una situación de ejercicio físico es estudiar las variaciones que puedan producirse en su nivel plasmático, en función de la intensidad y duración del esfuerzo.

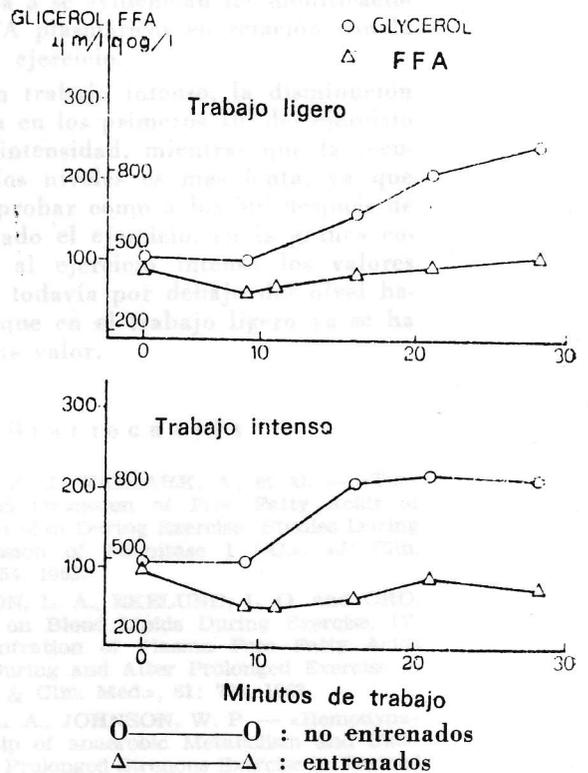
A diferencia de lo que ocurre en otros casos hay un acuerdo bastante notable entre los diversos autores en cuanto a las líneas generales de variación del nivel plasmático de FFA.

La gráfica 1 nos muestra las variaciones experimentadas en los ácidos grasos de una serie de individuos, entrenados y no entrenados,



Gráfica 1. — Tomada de R. H. JOHNSON y cols. (1969) «Lancet» 11, 452-455.

frente a una carrera de 1 hora y media de duración. Se comprueba que siguen una línea ascendente en ambos casos, más notable en los individuos no entrenados, pero ciertamente significativa en los dos grupos. Más adelante se comentará con más detalle el sentido y la interpretación de estos cambios en función de la intensidad del esfuerzo, pero previamente debemos plantearnos los motivos por los que puede modificarse la concentración plasmática de una sustancia cualquiera.



Gráfica 2. — Tomada de OSNESS, W. H. (1974). «Med. dello Sport», 27: 38.

Para el estudio de los cambios del metabolismo lipídico en el ejercicio, se utilizan isótopos radiactivos, en especial ácido palmítico marcado con C₁₄ en el C situado en posición 1 (1). Este ácido graso marcado, se inyecta en el torrente vascular y se monitoriza la actividad específica del plasma mediante sucesivas extracciones de sangre. La progresiva desaparición de la actividad radiactiva de la sangre, permite conocer la tasa de recambio de los FFA plasmáticos, mientras que la velocidad de aparición de CO₂ marcado en el aire espirado, nos permite conocer el ritmo de metabolización de los FFA.

Este tipo de técnicas permiten confirmar que

la tasa de recambio de los FFA plasmáticos aumenta considerablemente con el ejercicio físico, lo que produce modificaciones notables en el nivel plasmático de los mismos.

En la gráfica 2 se representa la variación de los FFA plasmáticos durante dos ejercicios de intensidad diferente. El descenso en la concentración plasmática de FFA, parece más importante en los 10 primeros minutos. Diversos autores (2, 3, 4, 5) han comprobado que la intensidad de este descenso es proporcional a la del esfuerzo desarrollado, y debe ser interpretado como un aumento de la utilización por el músculo implicado en el ejercicio de los FFA como sustrato energético. Algunos autores intentan explicar este descenso en relación con las modificaciones del ácido láctico (6), lo que no parece confirmarse (7). Es posible además que influya en mayor o menor grado el aumento de flujo sanguíneo de las masas musculares activas, lo que supondría un aumento en la velocidad de recambio de los FFA (8).

Después del descenso inicial, se produce un lento, pero progresivo aumento de nivel, que primero alcanza los valores basales y luego los supera, llegándose al final del ejercicio a valo-

res considerablemente mayores que los iniciales. La velocidad con la que se produce el aumento depende también de la intensidad del esfuerzo ya que es mucho más rápido en trabajos ligeros y más lento en los intensos.

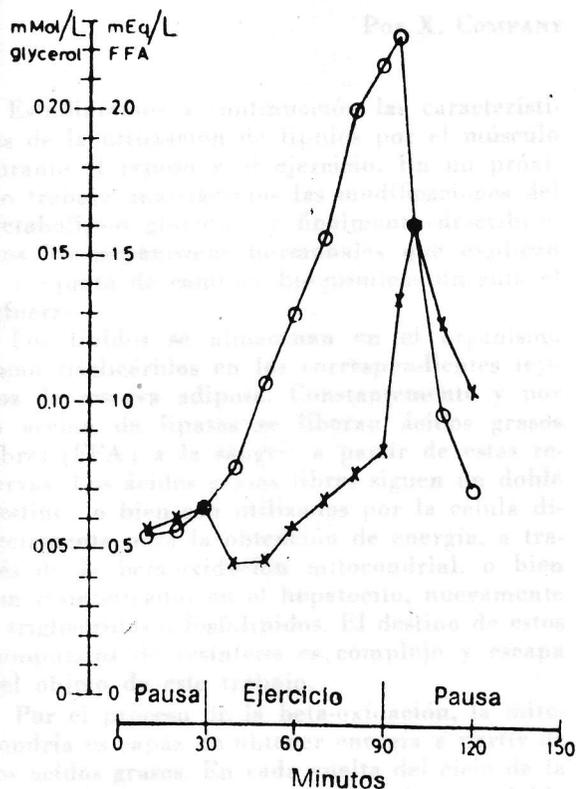
Con el cese del esfuerzo, la curva ascendente que seguía el nivel de FFA, presenta una inflexión, con aumento notable, explicable por la brusca reducción del flujo sanguíneo o por la disminución de la captura de FFA por el músculo, regresando después paulatinamente hasta los valores basales.

En la gráfica 3 se evidencian las modificaciones en los FFA plasmáticos en relación con la intensidad del ejercicio.

Así para un trabajo intenso, la disminución que se observa en los primeros 10' del ejercicio es de mayor intensidad, mientras que la recuperación de los niveles es más lenta, ya que podemos comprobar cómo a los 30' después de haber comenzado el ejercicio, en la gráfica correspondiente al ejercicio intenso los valores de FFA están todavía por debajo del nivel basal, mientras que en el trabajo ligero ya se ha recuperado este valor.

BIBLIOGRAFÍA

- (1) HAVEL, R. J., NAIMARK, A., et al. — «Turnover Rate and Oxidation of Free Fatty Acids of Blood Plasma in Man During Exercise: Studies During Continuous Infusion of Palmitate ^{14}C .», *J. Clin. Invest.*, 42: 1.054, 1963.
- (2) CARLSON, L. A., EKELUND, L. G. and ORO, L. — «Studies on Blood Lipids During Exercise. IV. Arterial Concentration of Plasma Free Fatty Acids and Glycerol During and After Prolonged Exercise in Men», *J. Lab. & Clin. Med.*, 61: 724, 1963.
- (3) COBB, L. A., JOHNSON, W. P. — «Hemodynamic Relationship of anaerobic Metabolism and Plasma FFA during Prolonged Strenuous Exercise in Trained and Untrained Subjects». *J. Clin. Invest.*, 42: 800, 1963.
- (4) FREIDBERG, S. J., HARLAN, W. R. jr., TROUT, D. L., ESTES, E. H. jr. — «The effect of exercise on the concentration and turnover of Plasma FFA». *J. Clin. Invest.*, 39: 215, 1960.
- (5) FREIDBERG, S. J., SHER, D. B., BOGDONEOFF, M. D., ESTES, E. H. — «The Dynamics of Plasma FFA metabolism during exercise». *J. of Lipid Research*, 4: 34, 1963.
- (6) ISSEKUTZ, B., MILLER, H. — «Plasma Free Fatty Acids During Exercise and the Effect of Lactic Acid». *Proc. Soc. Expt. Biol. Med.*, 110: 237, 1962.
- (7) M. ZACCARIA, C. de PALO, D. CASARA, C. SCANDELARI, C. FEDERSPIL. — «Mobilizzazione dei NEFA, Lipolisi e Lattacidemia in vari tipi di esercizio muscolare nell'uomo allenato». *Med. dello Sport*, 27: 80, 1974.
- (8) WILLIAMS, C., KELMAN, G. R., COUPER, D. C., and HARRIS, C. G. — «Changes in Plasma FFA Concentrations Before and After Reduction in High Intensity Exercise». *J. Sports Medicine*, 15: 2, 1975.



Gráfica 3. — Tomada de CARLSON y cols. (1963) *J. Lab. Clin. Med.*, 61: 724.