

Algunas cuestiones importantes concernientes a la bioquímica deportiva (*)

N. H. JAKOULEV

Profesor de Biología del Instituto de
Investigaciones Científicas Deportivas
de Leningrado.

(Traducido de la revista soviética: «Teoría y práctica de la Educación Física», núm. 3, marzo 1963).

En la hora actual, la bioquímica del esfuerzo se adentra más y más en la práctica deportiva, renovando las teorías pedagógicas sobre el hecho deportivo, y abriendo nuevas perspectivas para su perfeccionamiento ulterior. Pero la comprensión total y correcta de los dominios de la bioquímica no está siempre asegurada. Es necesario, pues, aportar la máxima claridad a algunos puntos de gran importancia en la bioquímica deportiva. Se trata ante todo de estudiar las relaciones entre el trabajo y el reposo e igualmente considerar la economía de energía (y de sus recursos) en el organismo entrenado. Vamos a examinar aquí las cuestiones concernientes a estos puntos y las reglas específicas de adaptación bioquímica del entrenamiento.

La contracción muscular es el resultado de un impulso nervioso motriz y, en definitiva, de la acción combinada de la proteína específica de las fibras musculares —miosina— con las

fuentes energéticas base de todos los procesos biológicos —ácido adenosintrifosfórico—.

La velocidad y la fuerza de contracción de la fibra muscular (y de los músculos en su totalidad) dependen del carácter del impulso motriz, del estado de la transmisión neuro-muscular y de la acción combinada del A.T.P. y de la miosina. La facultad de soportar un trabajo prolongado (resistencia) depende, en cambio, de las modificaciones químicas que se producen en el músculo para la resíntesis del A.T.P. Estos procesos, por lo que concierne a los aspectos concretos de la actividad muscular, pueden desarrollarse de diversas formas.

La contracción de los músculos puede producirse por la participación de todas sus partes funcionales o de algunas de sus unidades. En el curso de contracciones repetidas, pueden intervenir las mismas unidades funcionales o bien una participación alternada. La fibrilla muscular por sí misma (o el complejo de miofibrillas ligadas estructuralmente en una unidad funcional) puede poseer una o bien varias terminaciones neuromotoras y, por tanto, cada terminación posee no solamente uno, sino varios contactos con la membrana de la fibrilla muscular. Es, pues, justificado pensar que la unidad funcional recibe impulsos tanto por parte de todos los contactos como por sólo una parte de

(*) N. R. — Rogamos a nuestros lectores disculpen la poca claridad expositiva en algunos pasajes del presente trabajo, debido a la doble traducción que fue preciso realizar para su versión al español, pero la indudable calidad de su contenido merece nuestra atención a pesar de los errores de expresión que somos los primeros en lamentar.

éstos. Es por esta razón que la respuesta motriz de la miofibrilla para una misma situación, no es siempre idéntica.

Se sabe que la facultad que posee la miosina de escindir el A.T.P., de transformar la energía química en mecánica, está ligada a la posesión por parte de la molécula de grupos tiazólicos libres. La cantidad de estos grupos, capaces de actuar conjuntamente con el A.T.P. en el curso de la actividad muscular, puede aumentar o disminuir. Considerando que cada grupo tiazólico acciona conjuntamente con una molécula de A.T.P., las posibilidades de transformación de energía química en energía mecánica dependen de la cantidad de estos grupos aptos para esta reacción. Como es generalmente admitido, se sabe que la resíntesis del A.T.P. que tiene lugar entre las contracciones puede producirse de diversas maneras, bien por la transformación de los grupos fosfato en fosfo-creatina, bien por una glucólisis anaerobia, bien por fosforilización aerobia, o, para terminar, por reacción mio-quinética, en dos moléculas de ácido adenosin-di-fosfórico. En relación con el carácter y las condiciones de trabajo, la resíntesis del A.T.P. se manifiesta por una u otra de estas reacciones e incluso por una acción común. Esto, por otra parte, determina la eficacia y la total resíntesis del A.T.P. y, por consiguiente, asegura la intensidad de la forma de trabajo eventual en su duración (diversas formas de trabajo de resistencia).

Es igualmente necesario hablar de los procesos bioquímicos que se producen en las neuronas motoras, que transmiten los impulsos motrices, y de las neuronas sensoriales que reciben y transforman el curso de los estímulos propioceptivos. Tampoco hay que olvidar las influencias tróficas potentes y diversas del sistema nervioso, que varían según las modificaciones bioquímicas en el centro y en la periferia.

Todo esto nos muestra la complejidad extrema y la profunda diversidad de los fenómenos bioquímicos que rigen la actividad fisiológica del trabajo muscular.

La cualidad biológica más importante del organismo es su poder de adaptación (su facilidad a ser «entrenado»), que le permite perfeccionarse bajo la influencia de la actividad muscular sistemática. Las situaciones biológicas de adaptación son la consecuencia natural de la auto-regulación de los procesos químicos del organismo. El paso del estado de reposo a la actividad muscular se acompaña ante todo de un marcado aumento del gasto de A.T.P. y de materias utilizadas para su resíntesis.

Durante el trabajo, es posible que este aumento sea insuficiente y que el equilibrio del A.T.P. se vea fuertemente amenazado; se produce entonces una baja del porcentaje del mismo y de otras materias (albúmina, acetilcolina, etc.). Entre tanto, aun cuando la resíntesis del A.T.P. sea perfectamente efectiva, está sin embargo en déficit, en un grado más o menos importante, sobre su gasto. De esto resulta un aumento del porcentaje de adenosin-difosfórico en los músculos y en numerosos casos, de adenosin-monofosfórico. El aumento del porcentaje de estas sustancias e igualmente el de la creatina no fosforilizada en los músculos del esqueleto, en el músculo cardíaco y en el cerebro, representa un potente estimulante combinado para la oxidación fosforilizada anaerobia y aerobia. Esta oxidación aumenta notablemente bajo estas influencias. El incremento en el recambio de materias en el momento de la actividad muscular se acompaña igualmente de un aumento de la actividad fermentativa de los músculos y otros tejidos. La razón aparente de esto no se encuentra en el aumento de la cantidad de fermentos, sino en la modificación de sus grupos activos o en el estado y el contenido de los co-fermentos.

La disminución de la intensidad del trabajo y, con mayor razón, su suspensión, conduce a una disminución considerable de la utilización de A.T.P. en el aprovisionamiento energético de las contracciones musculares, a la liquidación progresiva de la deuda de oxígeno y a un aumento de la resíntesis del A.T.P. Resulta de este último punto una utilización forzada del aprovisionamiento energético para la síntesis de las materias necesarias durante la actividad muscular (glucógeno), fosfocreatina, lípidos, etc). Además de la mayor actividad de los sistemas de fermentación, se va a producir un aumento del porcentaje de las materias (presencia abundante) gastadas en el curso de la actividad muscular. La presencia de una *super-compensación* no se dirige únicamente a los portadores de energía (glucógeno y fosfocreatina), sino que concierne igualmente a las proteínas de los músculos, lo que lleva a una hipertrofia (aumento de la masa muscular) y de las proteínas-fermentos: *Luego el porcentaje aumenta durante el periodo de reposo.* Se produce igualmente en los músculos toda una serie de modificaciones bioquímicas, de las cuales algunas no se modifican después de un corto trabajo, pero que, por el contrario, son netamente definidas después de un trabajo más o menos largo (elevación del porcentaje de

miohemoglobina, glucosa, ácido ascórbico, creatina, sales minerales, etc., etc.). Las consecuencias bioquímicas que provoca el ejercicio pueden ser observadas no solamente en el sistema muscular, sino también en el miocardio, en el sistema nervioso, en el hígado y en otros tejidos y órganos.

Los fenómenos provocados por un trabajo efectuado una sola vez, y que son la causa regular de procesos químicos que tienen lugar en el organismo durante la actividad muscular, se atenúan progresivamente, siguen una curva plana. Sin embargo, si los ejercicios son repetidos sistemáticamente y ejecutados en la fase de super-compensación, estos fenómenos son entonces más acentuados y favorecen el aumento de la capacidad de rendimiento.

El efecto positivo de adaptación al entrenamiento en conjunto no puede ser obtenido más que por la suma de las modificaciones de adaptación que siguen a las cargas particulares. La aplicación sistemática de cargas sucesivas durante el restablecimiento incompleto de los potenciales energéticos, lleva en definitiva al agotamiento del organismo. Sin embargo, el término de carga particular no debe confundirse con la actividad competicional, o en ciertos casos, con sesiones de entrenamiento separadas. Teniendo en cuenta el objetivo que pretende el atleta, las cargas particulares en una misma sesión de entrenamiento pueden ser practicadas durante la fase de restablecimiento incompleto, con el fin de reforzar las consecuencias bioquímicas hacia el final de la sesión y para obtener un mayor efecto del entrenamiento (se puede citar como ejemplo los métodos de entrenamiento por intervalos). En cambio los intervalos entre las sesiones pueden no ser óptimos, en el sentido del restablecimiento de la capacidad de rendimiento (por ejemplo, entre el entrenamiento de la mañana y el de la tarde), y por ello las sesiones principales, más intensas y de mayor duración que forman parte del ciclo de entrenamiento, deben ser practicadas durante la fase de elevación de los potenciales y de la capacidad de rendimiento. Es comprensible la necesidad que existe de variar no sólo las cargas sino también el reposo. Lo uno sin lo otro no puede dar el efecto deseado; el reposo es tan importante como el ejercicio físico mismo. Este último está condicionado por las particularidades del desarrollo de los procesos bioquímicos en el curso de la actividad muscular de carácter diverso. Se sabe que después de las cargas (trabajo) de velocidad, los procesos de recuperación son más rápidos

que después de un trabajo prolongado, debido a su duración; por contra, la fase de supercompensación es mucho más larga en este último caso.

Los ejercicios de fuerza, en los que en general predomina una situación prudentemente estática conducen a menudo a una baja de la actividad de ciertos sistemas de fermentación, este tipo de trabajo se caracteriza, en comparación con otras formas de ejercicio, por una restitución mucho más lenta. Esto quiere decir que, en todos los casos, la duración óptima del reposo debe ser variable. Sin embargo, no todo reside en este principio. La restauración del equilibrio bioquímico al nivel de antes del trabajo y el desarrollo de la fase de supercompensación a que antes hacíamos mención durante el período de reposo siguiente al trabajo, no se suceden simultáneamente. Así, por ejemplo, la supercompensación del porcentaje de fosfocreatina se produce muy rápidamente, la supercompensación del porcentaje de glucógeno se produce más tarde y su duración es igualmente más larga, y el porcentaje de proteína alcanza el nivel superior al de partida aún más tarde. Es la razón por la cual la duración del reposo, sufriendo modificaciones tras una misma carga, produce diferentes efectos. Si, por ejemplo, deseamos obtener una abundancia de fosfocreatina en la sangre, debemos tener períodos de reposo más cortos que si estamos interesados por el aumento de las proteínas de base.

La diferencia bioquímica existente entre el organismo entrenado y el organismo no entrenado, pueden definirse en general de la manera siguiente. He aquí lo que caracteriza al organismo entrenado:

a) Una mayor cantidad de ramificaciones terminales (contactos) e igualmente de terminaciones nerviosas motoras, lo que supone mejores condiciones para la transmisión de los impulsos motrices y de la influencia trófica del nervio sobre el músculo.

b) Porcentaje relativamente más elevado de miosina en los músculos y, por consiguiente, mayor posibilidad de transformar la energía química en mecánica.

c) Hipertrofia de los músculos, lo que da mayor fuerza a su contracción.

d) Potencial energético del organismo más elevado, en particular por lo que se refiere al aumento del glucógeno en el hígado.

e) Actividad más intensa de los diferentes sistemas de fermentación, lo que facilita y

aumenta las posibilidades de gasto y de depósito de las fuentes de energía y en particular la resíntesis aerobia y anaerobia del A.T.P.

f) Aumento de las posibilidades de mantener a un nivel constante el medio interno del organismo en el momento de una actividad muscular intensa y, de otra parte, posibilidad de ejecutar un trabajo intenso en condiciones óptimas en situación de modificación bioquímica del medio interno del organismo.

Los fenómenos de adaptación que hemos citado, permiten al atleta entrenado hacer un trabajo de larga duración y de fuerte intensidad en condiciones mucho más favorables que las que puede soportar un sujeto no entrenado.

Hasta el presente no hemos abordado más que nociones generales. La adaptación bioquímica del organismo a la actividad muscular es específica, y, por tanto, varía según el tipo de actividad.

Las particularidades bioquímicas enumeradas están siempre presentes, en un grado más o menos acentuado. Por tanto, en determinados casos, ciertas particularidades pueden estar muy pronunciadas y otras apenas esbozadas. Esto es un desarrollo normal de los procesos bioquímicos en el curso de las diferentes actividades musculares y del subsiguiente período de reposo. Se perfecciona en primer lugar lo que es más intensamente solicitado, y son las materias más utilizadas las que se acumulan en mayor cantidad. Así, por ejemplo, en los ejercicios de velocidad de intensidad máxima y submáxima, la creatina de los músculos es fuertemente solicitada y de una forma más moderada en los ejercicios de larga duración. Como consecuencia, bajo la influencia de ejercicios de velocidad, el porcentaje de fosfocreatina en los músculos aumenta fuertemente, mientras que bajo la influencia de ejercicios de fondo no se modifica apenas. Por el contrario, la facultad que posee el organismo de almacenar glucógeno en el hígado aumenta fuertemente en este segundo caso, mientras que en los ejercicios de velocidad, durante los cuales el gasto de glucógeno es débil, queda prácticamente sin modificarse. Los ejercicios de fuerza, caracterizados por un gasto importante de proteínas, llevan consigo una hipertrofia más marcada de los músculos, mientras que los ejercicios de larga duración, de resistencia, no experimentan más que una pequeña modificación.

Es fácil aumentar el número de ejemplos que hemos dado. Todos demuestran que, gracias a la adaptación bioquímica específica del organismo a la actividad muscular, utilizando

tal o cual ejercicio físico y haciendo alternar correctamente el trabajo y el reposo, es posible influenciar racionalmente los procesos de recambio de materias, lo que perfecciona al organismo en una dirección determinada.

Las condiciones de carácter específico para la adaptación bioquímica del organismo, permiten igualmente comprender la teoría sobre la economía de los procesos de recambio de materias en el organismo entrenado. El hecho de que el atleta entrenado, comparado al sujeto no entrenado, pueda cumplir trabajos standards más económicamente, con consecuencias funcionales y bioquímicas menores, y que para los rendimientos máximos solicita más plenamente los recursos energéticos y funcionales, es, en el momento actual, una verdad elemental. Esta conclusión requiere, sin embargo, una mayor precisión. La idea de economía por un lado y la de movilización máxima de los potenciales energéticos y funcionales por otro, parecen oponerse, y es por ello que provoque a menudo conclusiones prácticas erróneas. Todas las modificaciones bioquímicas y funcionales que comporta el entrenamiento están destinadas a la adaptación y dirigidas hacia la organización óptima de la actividad fisiológica durante el ejercicio muscular óptimo, en particular para una actividad dada.

Ciertos procesos bioquímicos y ciertas funciones del organismo se desarrollan más económicamente que otros, a intensidad máxima. De hecho, la intensidad máxima de la glicolisis anaerobia es elevada por necesidad en las carreras sobre cortas distancias (disparidad marcada entre la necesidad de oxígeno y el consumo real): sin esto, es imposible obtener una marca extraordinaria. Por otra parte, la intensidad máxima de la glicolisis, en el curso de una carrera de marathon o de fondo en ski, sería nefasta a los resultados deportivos. En este último caso, los procesos energéticos con coeficiente elevado poseen una importancia decisiva y, en consecuencia, los procesos económicos de oxidación aerobia. El gasto de los recursos de energía para una unidad de trabajo es casi 12 veces menor en el segundo caso, comparado con el primero. Es una manifestación evidente de economía. Por el contrario, el organismo entrenado, en el curso de un trabajo de duración máxima, gasta a fondo sus recursos de energía y esto trae como consecuencia una movilización de energía de reserva y una intensidad extremadamente elevada de los procesos de oxidación aerobia. Es difícil establecer la frontera entre el gasto excesivo y el esfuerzo máximo y entre las posibilidades del organismo y en dónde se termina la economía.

Volvamos al sprint, ejercicio que representa el ejemplo de esfuerzo y de tensión máximos de las fuerzas del organismo así como del gasto excesivo, de no-economía, de los recursos energéticos. Durante la glicolisis que predomina en el sprint, solamente es utilizada en el trabajo una doceava parte de la energía comprendida en una molécula de glucosa, mientras que en la oxidación aerobia que predomina en una carrera de fondo, es prácticamente utilizada a tope. Cuanto más se encuentre el esprinter en buena condición física, más elevado es el rendimiento y más parecería que esta no-economía habría de acentuarse. De hecho, con el aumento de la preparación del esprinter, con la mejora de sus resultados deportivos, aumenta el grado relativo de la deuda de oxígeno. Se ve,

por otra parte, que pueden aumentarse las posibilidades favoreciendo la resíntesis del A.T.P. que tiene lugar durante la carrera, en favor de la fosfocreatina, y, como consecuencia, una intensidad menor de la glicolisis poco eficaz y antieconómica. Tenemos de nuevo un conjunto complejo de economía en ciertos procesos y de una intensidad máxima para otros, lo que, en definitiva, contribuye a mejorar la capacidad de rendimiento máximo, por lo que se refiere a una actividad fisiológica óptima dirigida a una forma de trabajo determinada.

Resta aún a la bioquímica deportiva encontrar nuevas vías para mejor comprender los mecanismos bioquímicos de la organización de la actividad fisiológica durante los diferentes ejercicios deportivos.

