

Los diferentes tipos de fibras musculares esqueléticas: características, funcionamiento durante el ejercicio y adaptación al entrenamiento

Philip D. Gollnick

Es sabido que el movimiento resulta directamente de la acción de los sistemas contráctiles del músculo esquelético. La posibilidad de ejecutar con los mismos grupos musculares toda una variedad de movimientos, ya sea de habilidad, de fuerza o de resistencia, va ligada a la existencia en el interior del músculo de unidades motrices que presentan características metabólicas y contráctiles diferentes, así como características propias en cuanto a la fineza del control ejercido por el sistema nervioso central. En el transcurso de las últimas décadas, se han llevado a cabo una considerable cantidad de trabajos dedicados al estudio de la contractilidad y de las características metabólicas de las fibras musculares esqueléticas, así como de la influencia del entrenamiento sobre estas propiedades, tanto en el hombre como en los animales. El propósito de este artículo es presentar de forma sintética el estado actual de dichos conocimientos en lo que concierne al hombre, y eventualmente también con respecto a los animales. Los resultados de los que disponemos actualmente deben ser interpretados con la mayor prudencia, ya que desconocemos aún muchos aspectos del tema en cuestión, y los futuros conocimientos es probable que modifiquen nuestros actuales conceptos en este campo.

Existen dos tipos de métodos que nos permiten habitualmente identificar las características contráctiles y las propiedades bioquímicas de las

fibras musculares esqueléticas. El primero consiste en poner de manifiesto mediante métodos de coloración histoquímica las propiedades específicas de las distintas fibras que se encuentran en una muestra de tejido muscular. El otro consiste en el análisis bioquímico directo de pequeñas muestras de tejido que contengan sólo un tipo de fibras, o incluso de una sola fibra aislada a partir de una muestra mayor. Ambos métodos presentan ventajas e inconvenientes. Las técnicas histoquímicas presentan la ventaja de ser relativamente simples y rápidas, y de facilitar resultados directamente visibles al microscopio o mediante clichés microfotográficos. Por otro lado, presentan el inconveniente de que apenas aportan otro elemento de información aparte de la intensidad de la fijación

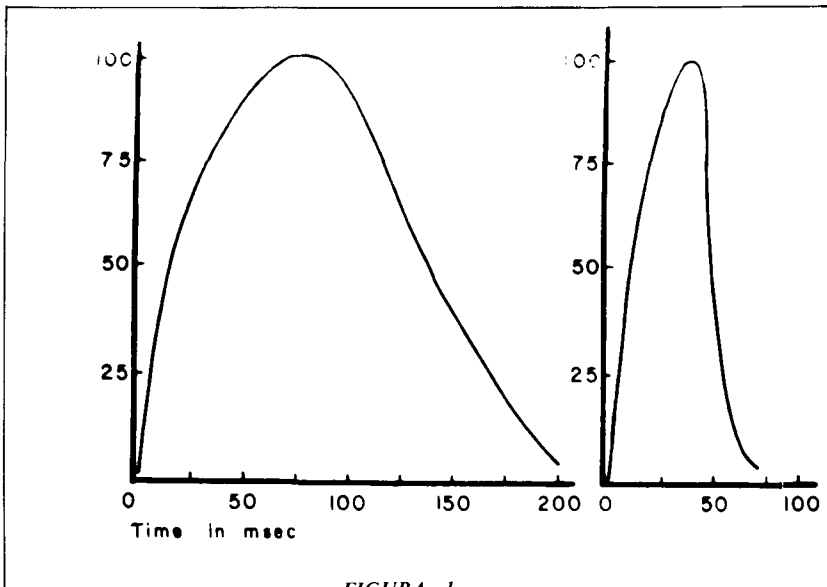
de los colorantes por los tejidos; si bien es cierto que la tinción permite identificar algunas propiedades características de los tejidos, no lo es menos el hecho de que no sirven para medir su actividad enzimática. El estudio directo de muestras musculares homogéneas viene limitado por la circunstancia de que en el hombre sólo un grupo muy reducido de músculos están constituidos por un solo fenotipo de fibra muscular. El aislamiento de las fibras para estudiar sus características bioquímicas específicas constituye una técnica difícil y para la que se necesitan instrumentos sofisticados y técnicos muy entrenados. Además, es preciso poner de manifiesto que no existe ningún método que aporte información directa sobre las propiedades contráctiles de las fibras musculares.

PROPIEDADES CONTRACTILES

Es posible distinguir dos grandes tipos de fibras, en base a sus propiedades contráctiles: las de contracción rápida, que alcanzan rápidamente su nivel de tensión máxima, y las de contracción lenta, que lo hacen más lentamente (Figura 1).

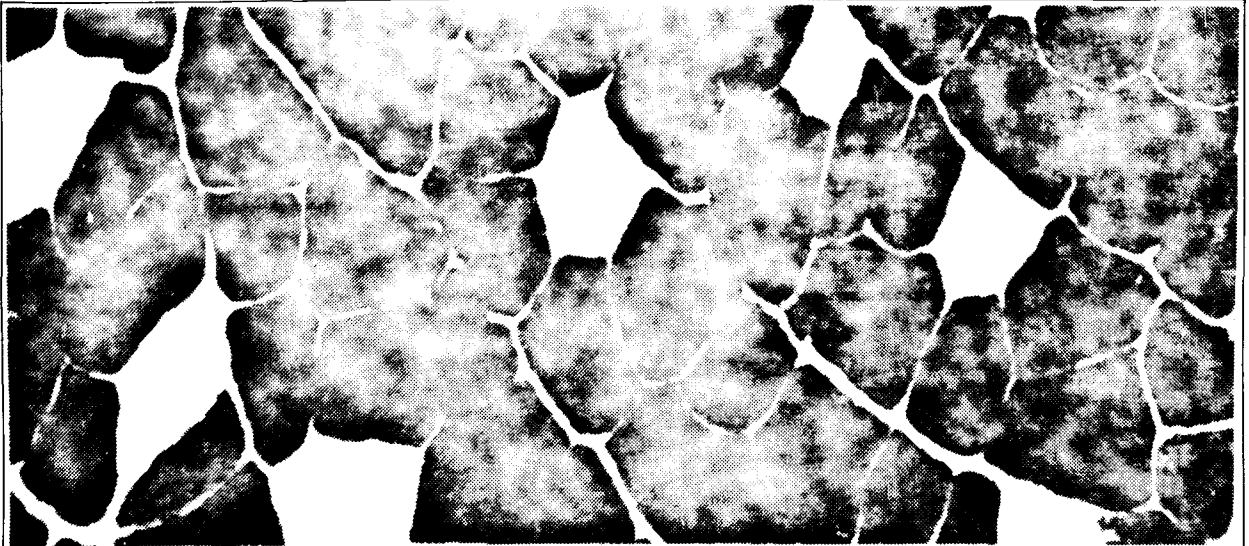
Esta contractilidad está en función de la rapidez con la que el complejo actinmiosina hidroliza el ATP (4), lo cual está a su vez en relación con la

proporción relativa de los diferentes isoenzimas de la miosina (54-56). Las diferencias de actividad ATPásica de la miosina pueden ponerse de manifiesto mediante métodos de tinción histoquímica tras la preincubación de los tejidos en distintas condiciones (5). Así, la preincubación a un pH de 10,4 determina las condiciones que permiten obtener una tinción muy intensa de las fibras



—FIGURA 1—

Características contractiles de los dos grandes tipos de fibra muscular esquelética; en las gráficas se aprecia el tiempo que necesitan para alcanzar su nivel de máxima tensión y para relajarse.



—FIGURA 2—

Identificación histoquímica de los dos grandes tipos de fibras musculares, a partir de las diferencias de intensidad de la tinción de la ATPasa miofibrilar tras la incubación a un pH de 10,4. Las fibras débilmente coloreadas se contraen lentamente y reciben el nombre de fibras de tipo I. Las fibras de color más oscuro por la tinción se contraen más rápidamente y son llamadas fibras de tipo II.

de contracción rápida, mientras que las de contracción lenta quedan teñidas muy levemente (Figura 2).

Se conoce corrientemente como fibras de tipo I a las de contracción lenta, y el de fibras de tipo II a las de contracción rápida. Si se realiza la incubación a pH 10,4, 4,6 y 4,3, es posible individualizar tres subgrupos

dentro de las fibras de tipo II (Figura 3). Las fibras del tipo IIa se tiñen muy intensamente tras incubarlas a pH 10,4, pero lo hacen mucho más débilmente si la incubación se lleva a cabo a pH 4,6 ó 4,3. Las fibras de tipo IIb se tiñen muy intensamente si la incubación se realiza a pH 10,4 ó 4,6, mientras que la coloración es

más moderada tras ser incubadas a pH 4,3.

A pesar de que en numerosas especies animales se han podido determinar las características de contractilidad y de actividad ATPásica de la miosina, no podemos decir lo mismo en el hombre. Por el contrario, en base a numerosas observacio-

nes, ha sido posible demostrar que las unidades motrices del músculo esquelético humano pueden contener exclusivamente ya sea fibras de contracción rápida o bien fibras de contracción lenta (6-8, 13-16). A pesar de que nunca ha sido posible verificar la relación que une las propiedades contráctiles de una fibra a la actividad ATPásica de la miosina en la especie humana, se trata de una relación tan extendida en la naturaleza que puede ser razonable pensar que también se da en el hombre. En los mamíferos, la mayoría de las fibras de contracción rápida alcanzan su tensión máxima de contracción en el lapso de unos 30 mseg, mientras que casi se multiplica por tres en las fibras de contracción lenta (unos 80 mseg) (Figura 1).

La actividad de la miosina activada por la actina es de 1,2 y 0,5 moles de ATP degradado/mg/min. para las fibras de contracción rápida y de contracción lenta, respectivamente (Figura 2). No resulta posible determinar diferencias entre los subgrupos de fibras del tipo II en base a la actividad ATPásica de la miosina purificada.

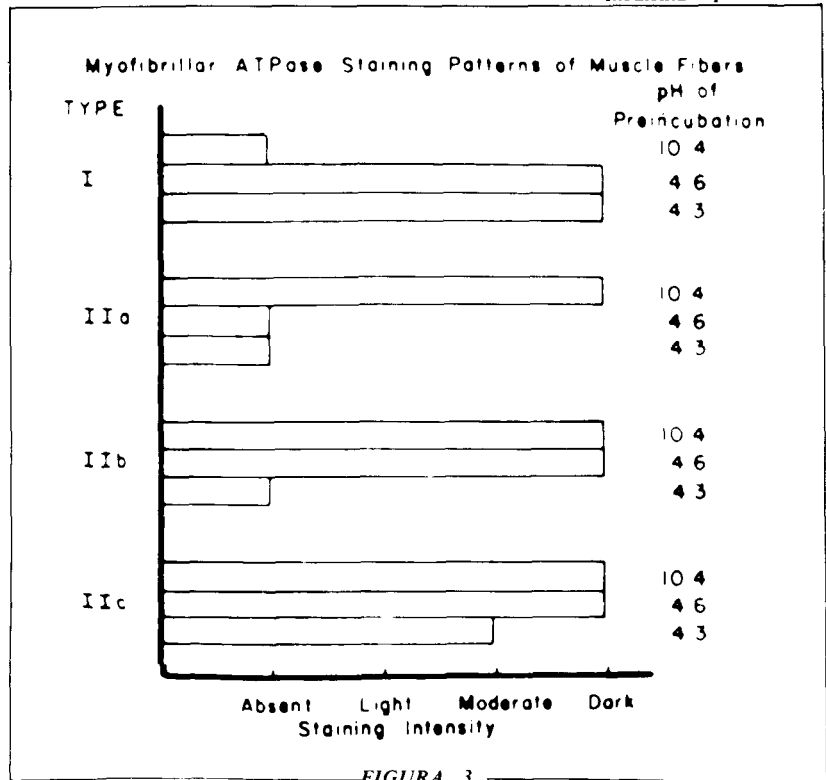


FIGURA 3

Patrones de tinción de la ATPasa miofibrilar de las fibras musculares.

Tipo I, IIa, IIb, IIc
 pH de la preincubación.

Intensidad de la tinción: Nula, ligera, moderada, oscura.

Identificación histoquímica de los subgrupos de fibras musculares esqueléticas.

gracias a las diferentes propiedades de intensidad de tinción ("staining pattern") de su ATPasa miofibrilar, después de su incubación a pH 10,4, 4,6 y 4,3. Extraído "Staining" = tinción.

CARACTERÍSTICAS METABÓLICAS

Mediante el uso de métodos histoquímicos que ponen de manifiesto de forma específica los potenciales aeróbicos y anaeróbicos, resulta posible valorar de forma semi-cuantitativa el perfil metabólico de las fibras musculares esqueléticas. La Figura 4 resume globalmente el perfil metabólico de los diferentes tipos de fibras, establecido con la ayuda de dichos métodos. Así, tenemos que el mayor potencial oxidativo corresponde a las fibras de tipo I, mientras que el más bajo es el correspondiente a las del tipo, IIb y los otros dos tipos (IIa y IIc) presentan valores intermedios. Por el contrario, el potencial anaeróbico es muy grande en los grupos IIa

y IIb, débil en las fibras de tipo I e intermedio en las de tipo IIc.

Las características metabólicas del músculo esquelético han podido establecerse de forma cuantitativa, gracias al estudio bioquímico de músculos o porciones musculares determinadas en especies animales (2,3,34,35), y de fibras musculares aisladas en el hombre (17,39,46,52). La Figura 5 representa las actividades relativas de cierto número de enzimas que intervienen en el metabolismo anaeróbico de las fibras musculares de diversas especies animales. Dichas actividades se representan gráficamente a través de la relación existente entre los valores

medidos para las fibras de tipo II y las de tipo I, las de actividad menor y a las que se atribuye el nivel arbitrario de 1. Dichos índices de actividad alcanzaron los niveles más altos para la fosforilasa (PHOS) y la piruvatoquinasa (PK), concretados en cifras de 8 a 10, mientras que los índices fueron alrededor de 4 para la fosfofructokinasa (PFK) y la lactatodeshidrogenasa (LDH).

La Figura 6 ilustra las actividades relativas de los enzimas del metabolismo aeróbico (comprendido el de los ácidos grasos) en la rata. En este caso, la actividad más débil correspondió a las fibras IIb; a éstas les fue atribuido, pues, el valor 1.

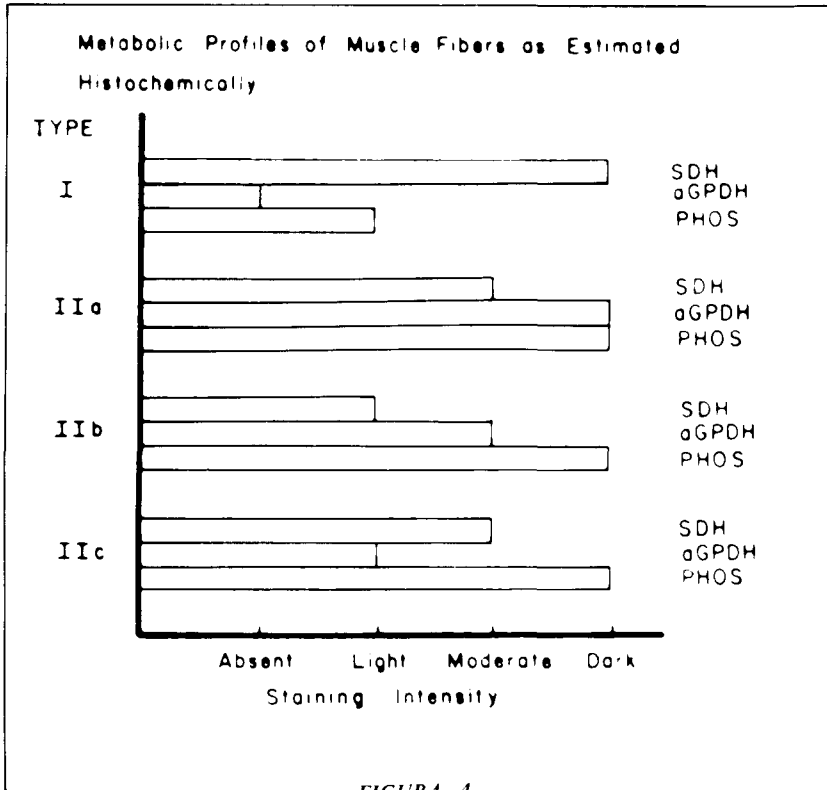


FIGURA 4

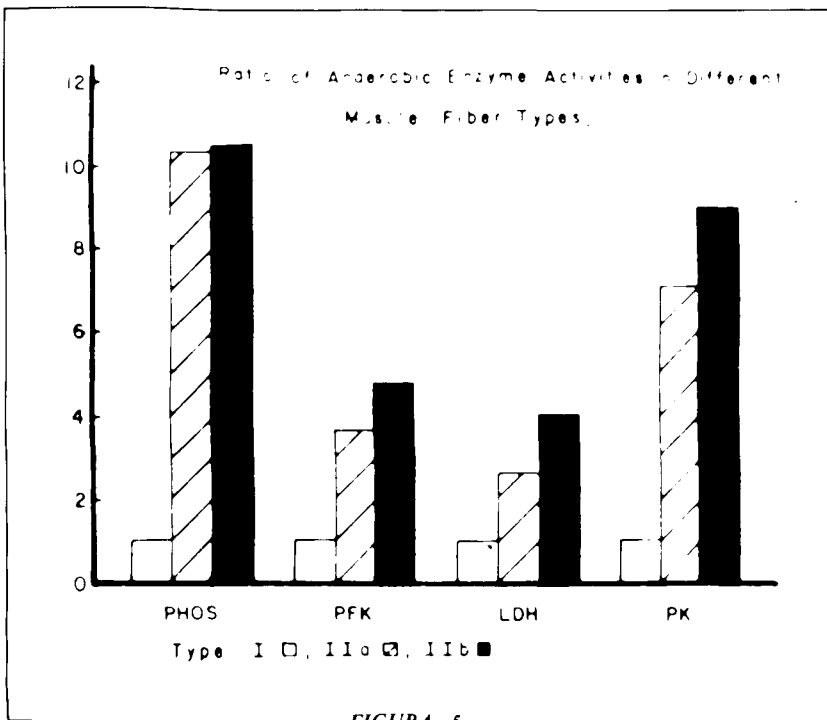


FIGURA 5

Perfiles metabòlics de les fibres musculars mitjançant estimació històquímica.

Intensitat de la tinció: Nula, Lligera, Moderada, Oscura (Intensa). Perfiles metabòlics de los distintos tipos de fibras musculares esqueléticas, determinados mediante métodos histoquímicos que ponen de manifiesto sus potenciales aeróbico (succinato-deshidrogenasa, SDH) y anaeróbico (fosforilasa, PHOS, y alfa-glicerofosfato deshidrogenasa, αGPDH). Extraído y adaptado de la referencia (5).

Las fibras del tipo IIa son las que presentan una actividad más elevada, mientras que las de tipo I ocupan una posición intermedia: De todo esto parece deducirse que en la rata, las fibras IIa son las que presentan una dotación enzimática para responder a las exigencias de los metabolismos aeróbico y anaeróbico, mientras que las fibras tipo I no pueden participar prácticamente más que en el metabolismo aeróbico.

La Figura 7 representa esas mismas relaciones entre las fibras en base a su actividad enzimática, pero en la especie humana. Los índices han sido establecidos para los enzimas correspondientes al metabolismo aeróbico y el metabolismo anaeróbico. Las fibras de tipo I son las que presentan una actividad enzimática anaeróbica más baja, mientras que las de tipo II muestran la actividad enzimática aeróbica menor comparativamente. Es interesante constatar el hecho de que, al igual que sucede en los animales, la relación de actividad enzimática entre los dos tipos principales de fibras musculares esqueléticas es mucho más elevada para los enzimas del metabolismo anaeróbico que para los del metabolismo aeróbico. Esto explica, sin duda, las diferencias en cantidad de ATP producidas según la molécula de sustrato sea dirigida hacia una u otra vía metabólica. Así, a nivel de la vía aeróbica, una diferencia relativamente pequeña (que se traduce por una relación entre los niveles de actividad de 3 ó 4), determina una enorme diferencia en la producción de energía. En la especie humana, las fibras que presentan una capacidad oxidativa mayor son las fibras de tipo I.

Índices de actividad enzimática anaeróbica de los distintos tipos de fibras musculares. Relación de los niveles de activi-

dad enzimática entre los distintos tipos de fibras musculares esqueléticas en la rata, para los enzimas del metabolismo anaeróbico.

Los símbolos son: PHOS, fosforilasa; PFK, fosfofructokinasa; LDH, lactatodeshidrogenasa; y PK piruvati-

nasa. Datos extraídos y adaptados de las referencias (3) y (47).

Índices de actividad de los enzimas aerobicos en diferentes tipos de fibra muscular.

Relacion en los niveles de actividad enzimatica entre los distintos tipos de fibra muscular de la rata, para los enzimas del metabolismo aerobico. Los simbolos son: SDH, succinatodeshidrogenasa; citOx, citocromooxidasa; citSyn, citratosintetasa; y CarPITr, carnitin-palmitil-transferasa. Datos extraidos y adaptados de la referencia (2) y de resultados no publicados de R.E. Sheperd y P.D. Gollnick.

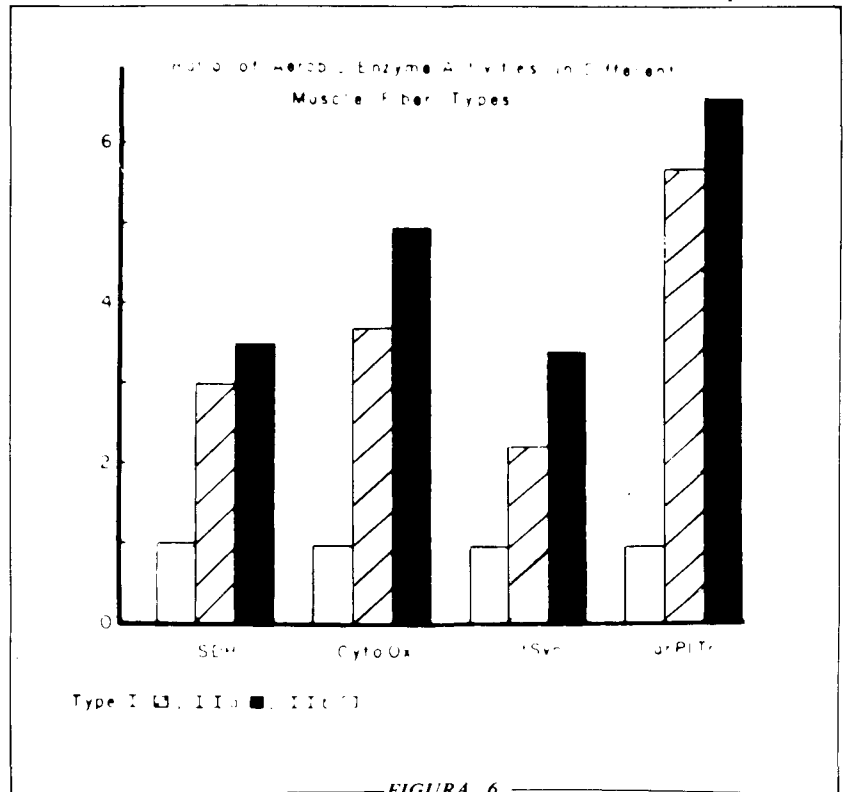


FIGURA 6

FUNCIONAMIENTO DE LAS FIBRAS

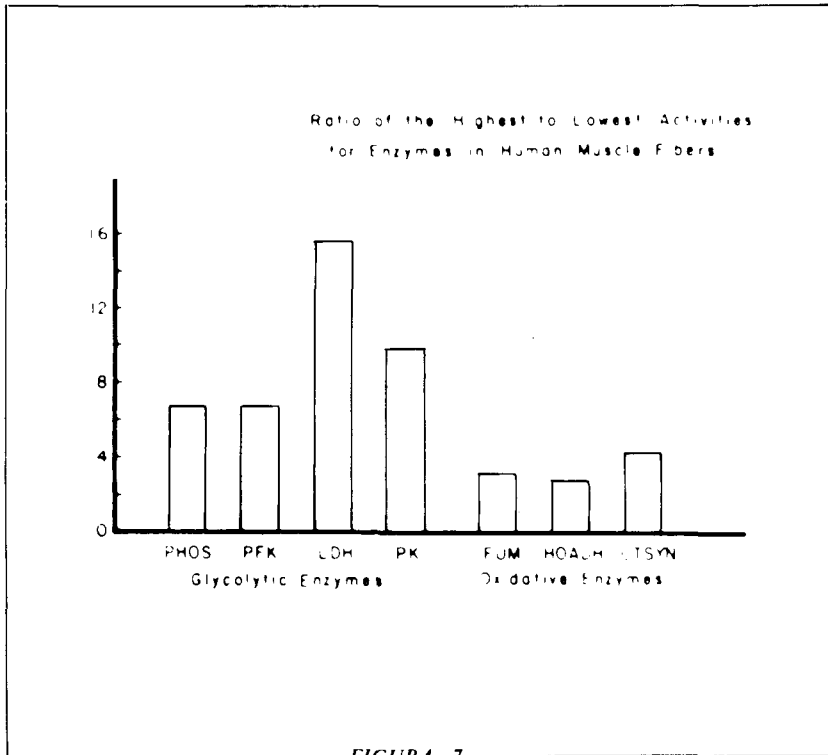
Las propiedades metabólicas y contráctiles de las fibras del tipo I las hacen especialmente aptas para llevar a cabo una actividad mantenida, de resistencia prolongada; las fibras de tipo II, por el contrario, están adaptadas sobre todo para las actividades que exigen una potencia elevada. El funcionamiento de las fibras se adapta a sus características intrínsecas (9,19,21,22,24,25). Esto es posible gracias al hecho de que cada unidad motriz está compuesta exclusivamente de fibras del mismo tipo (38), y a que su activación está ligada a las características de excitabilidad de sus neuronas motoras (31,33). En esquema, puede afirmarse que las fibras de tipo I están inervadas por fibras nerviosas de pequeño diámetro, mientras que las de tipo II están inervadas por motoneuronas de diámetro mayor. En el interior de cada tipo de unidad motriz existe toda una escala de grados de excitabilidad, si bien hay que desta-

car que la puesta en marcha de unidades motrices suplementarias siempre puede tener lugar de forma progresiva. Una motoneurona inerva un número de fibras musculares tanto más elevado, cuanto menos excitable sean dichas fibras. Esto permite asegurar una progresión regular del aumento de la fuerza en función de la puesta en acción de cada unidad motriz suplementaria.

Los ejercicios de intensidad muy baja se realizan mediante la intervención de un número reducido de fibras del tipo I (24); a medida que aumenta la intensidad del ejercicio, aumenta el número de fibras de tipo I activadas en función de la intensidad del ejercicio (22,24). La continuación hasta el agotamiento de un ejercicio de potencia inferior a la potencia aeróbica máxima se acompaña de la puesta en juego de unidades motrices de tipo II (22). Esto va en función del agotamiento de las reservas de glucógeno de las fibras de tipo I, lo

que las hace incapaces de mantener un nivel metabólico compatible con la intensidad del ejercicio. Cuando se trata de ejercicios de gran intensidad (superior a la potencia aeróbica máxima), entran en marcha los dos tipos de unidades motrices (13,14,21,24,25).

Ciertos hechos han permitido pensar que la puesta en funcionamiento de unidades motrices pudiera estar en función de la rapidez de la contracción muscular (28,30,51). No obstante, las observaciones recientes de DESMEDT y GODEAUX (13,14) han revelado que la entrada en funcionamiento de las unidades motrices de contracción rápida está en función, exclusivamente, de la fuerza desarrollada y es totalmente independiente de la rapidez de la contracción. Por tanto, es muy dudoso que ciertos programas de entrenamiento pueden determinar una puesta en marcha selectiva de las fibras de contracción rápida.



Índices de actividad de los enzimas en las fibras musculares humanas. Enzimas glicolíticos. Enzimas oxidativos.

Relacion en los niveles de actividad en las fibras musculares esqueléticas humanas aisladas, para los enzimas del metabolismo aeróbico y anaeróbico. Los símbolos son: PHOS, fosforilasa; PFK, fosfofructokinasa; LDH, lactatodeshidrogenasa; PK, piruvatokinasa; FUM, fumarasa; HOADH, 3-hidroxia-cetil-CoA deshidrogenasa; y CTSYN, citratosintetasa. Datos extraídos y adaptados de la referencia 39.

ADAPTACIONES METABOLICAS AL ENTRENAMIENTO

El entrenamiento mediante el ejercicio de larga duración estimula, tanto en el hombre como en los animales, y a nivel de todos los tipos de fibras, la actividad de los enzimas que intervienen en el metabolismo oxidativo (2,20,26,34,35). Tales modificaciones, que se traducen en un aumento del volumen de las mitocondrias, tienen lugar tanto en el hombre como en la mujer (26,36). La Figura 8 presenta un ejemplo de este tipo de cambios a nivel del músculo humano: en este caso, la succinato-deshidrogenasa (un enzima que refleja de modo aproximado la cantidad de proteínas mitocondriales totales) ha sido determinada después de un periodo de entrenamiento mediante ejercicio de larga duración de seis meses. La figura indica asimismo la evolución del consumo máximo de oxígeno de los individuos sometidos a la prueba, así como el porcentaje de fibras de tipo I en el músculo estudia-

do (el vasto externo). Los resultados muestran que el entrenamiento aumenta de forma importante el potencial oxidativo, en aquellos sujetos que presentan un porcentaje relativamente bajo de fibras de tipo I, y que no existe correlación estrecha entre estas modificaciones y el aumento del consumo máximo de oxígeno del organismo. Este incremento en la actividad enzimática permanece limitado a los músculos solicitados por el entrenamiento (18,45) y está en función de la duración y la intensidad del trabajo (45,46). Por el contrario, los ejercicios de esprint apenas inducen ningún cambio (45,47), lo cual está en clara relación con la duración muy breve de este tipo de trabajo. Dado que este entrenamiento de resistencia supone un trabajo de baja intensidad, resulta lógico que las modificaciones enzimáticas sean menos marcadas y parezcan localizadas a nivel de las fibras de tipo I y

IIa, lo cual se debe al hecho de que las fibras IIb no entran en funcionamiento durante este tipo de actividad (24).

Es preciso subrayar que ni el entrenamiento de velocidad ni el entrenamiento de resistencia parecen determinar modificaciones notables de la actividad de los enzimas del metabolismo anaeróbico (3,12,23,45,47). Esto permite suponer que estos enzimas se encuentran en concentración suficiente para responder a todas las demandas del metabolismo anaeróbico.

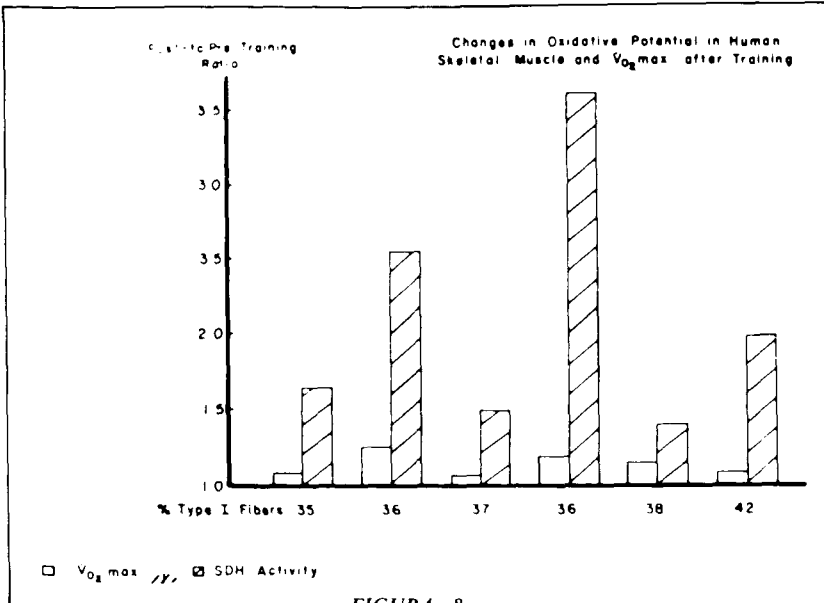


FIGURA 8

INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO EN LA COMPOSICION DEL MUSCULO

Los estudios realizados sobre este tema se han llevado a cabo mediante comparaciones entre muestras obtenidas por biopsia antes y después del entrenamiento a nivel del propio músculo (en el hombre) y de músculos enteros obtenidos de animales entrenados y no entrenados. Se ha podido observar que el entrenamiento, especialmente el de resistencia, determina tanto en el hombre como en los animales una modificación significativa de la composición del músculo esquelético. Estos cambios se producen esencialmente por transformación de fibras IIb en fibras IIa, que cumplen los criterios histoquímicos de aumento del potencial oxidativo. Esta activación de los enzimas del metabolismo oxidativo se produce en todos los tipos de fibras con la misma intensidad, lo que se traduce en el mantenimiento constante de sus actividades relativas; en base a este hecho, podemos preguntarnos si tales modificaciones denotan realmente un cambio efectivo del fenotipo básico.

De hecho, parece ser que prácticamente ninguna de las características que definen a este fenotipo básico

en lo que concierne a la actividad ATPásica miofibrilar, ha podido poner de manifiesto la conversión de un tipo de fibras en otro distinto. Citemos, entre otros, los estudios de GOLLNICK y colaboradores (20), en el que la distribución de las fibras en las muestras de vasto externo obtenidas por biopsia fue examinada antes y después de seis meses de entrenamiento mediante ejercicio de larga duración (Figura 9). Si nos referimos a la actividad ATPásica miofibrilar, vemos que la distribución de los dos grandes tipos de fibras no se modificó. Este periodo de seis meses puede parecer muy corto si lo comparamos con los años de entrenamiento a que se someten los atletas especializados de alto nivel que se dedican a las pruebas de resistencia. Por otra parte, este lapsus de tiempo es suficiente para que transcurra el tiempo de vida media de las proteínas que componen los isoenzimas de la miosina que caracterizan los diferentes tipos de fibras musculares, con lo que los cambios aludidos han tenido tiempo de manifestarse. COSTILL y col. (12) tampoco pudieron poner de manifiesto modificación alguna del

fenotipo de base del músculo esquelético humano, en respuesta a un programa de trabajo muscular contra resistencias elevadas. Más recientemente, WATRAS y GOLLNICK no pudieron tampoco demostrar ninguna modificación de la actividad ATPásica de la miosina purificada por electroforesis y en presencia de actina, en los músculos de las extremidades posteriores de la rata, sometida a un entrenamiento mediante ejercicio de larga duración (Figura 9).

Resulta posible modificar la composición de un músculo esquelético sin cambiar las proporciones relativas de los distintos tipos de fibras; así tenemos que la Figura 10 ilustra un aumento de la superficie de sección de las fibras de tipo I. Por el contrario, GOLLNICK, col. (18), así como EDSTRÖM y EKBLÖM (16) han puesto de manifiesto que los halterófilos presentan las fibras de tipo II más desarrolladas que los individuos sedentarios o que los atletas que no trabajaban con resistencias elevadas (Figura 11). Por último, COSTILL, y col. (12) pudieron observar, después de un entrenamiento muscular con resistencias altas, un aumento de la superficie de las fibras del tipo I y IIa, mientras que las IIb no se modificaban. En conclusión, diremos que resulta posible modificar la composición de un músculo mediante el aumento de la superficie relativa ocupada por un determinado tipo de fibras musculares.

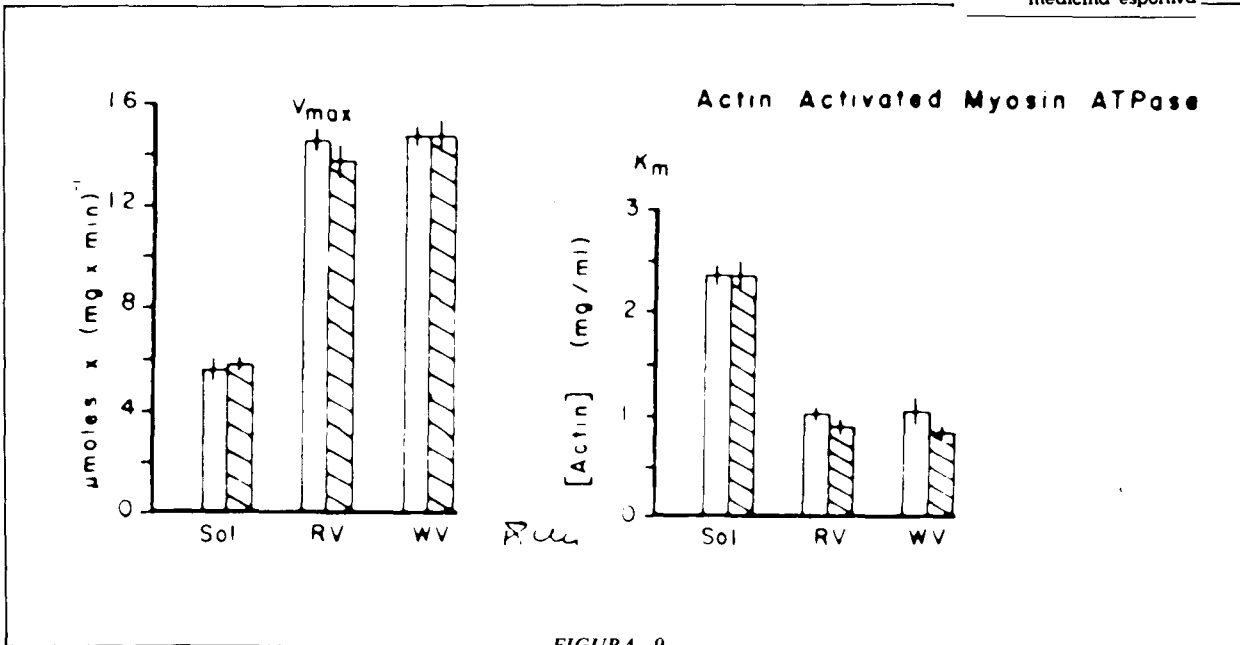


FIGURA 9

ATPasa de la miosina activada por la actina.

Efecto del entrenamiento mediante ejercicio de larga duracion sobre la actividad ATPasica maxima de la miosina activada por la actina (V_{max}) y sobre la actividad de la miosina, determinada por la constante de Michaelis (K_m), a nivel de los tres tipos de fibras musculares presentes en los musculos del tren posterior de la rata. J. WATRAS y P.D. GOLLNICK, resultados no publicados.

INFLUENCIA DEL ENTRENAMIENTO SOBRE EL NUMERO DE FIBRAS

Después de los trabajos de MORPURGO (41), se acepta generalmente que el número de fibras musculares se fija después del nacimiento o poco tiempo más tarde. En estas condiciones, se suponía que el aumento de volumen de un músculo dependía únicamente del desarrollo de las fibras preexistentes. Últimamente, cierto número de trabajos han conducido a poner en duda dicho concepto. Así, ha podido observarse un aumento del número de fibras que componen un músculo determinado, en respuesta a ciertos tratamientos, que, como en el caso de un trabajo con resistencias elevadas, determinan un aumento del volumen muscular (27,29,43,44,49,50,53). SCHMALBRUCH (48) ha pasado revista a los diferentes mecanismos susceptibles de intervenir en el desarrollo de una hiperplasia muscular esquelética. Se ignora aún la importancia real que puede tener el aumento del número de fibras en el desarrollo global de un músculo en respuesta a distintos tipos de sobrecargas.

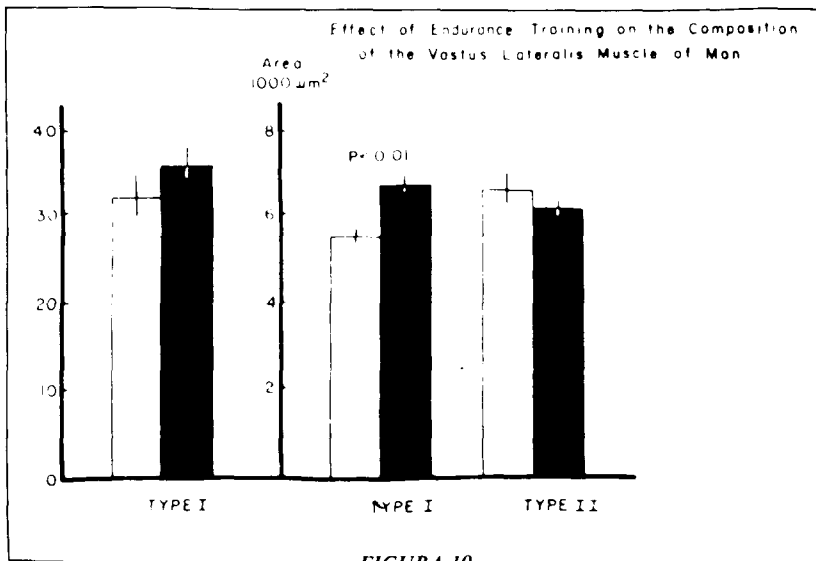
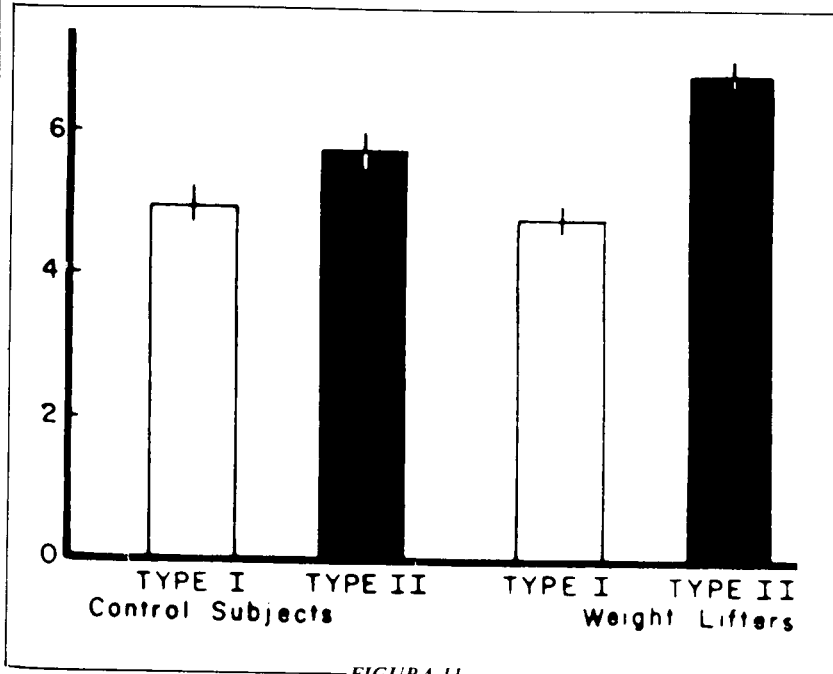


FIGURA 10

Efectos del entrenamiento de resistencia en la composicion del musculo vasto externo en el hombre.

Efectos del entrenamiento mediante ejercicio de larga duracion sobre el porcentaje y la superficie de los dos grandes tipos de fibras, a nivel del vasto externo, en el hombre. Las columnas claras simbolizan los valores medios antes del entrenamiento y las columnas oscuras, los valores determinados después del mismo. Datos extraidos y adaptados de la referencia (20).



Superficie de seccion de las fibras del vasto externo en sujetos de control y levantadores de pesas (halterofilos).

Superficie de seccion de las fibras musculares del vasto externo en sujetos de control y halterofilos. Datos extraidos y adaptados a las referencias 16, 18 y 19.

Control subjects: sujetos de control.

Weight lifters: halterofilos.

FIGURA 11

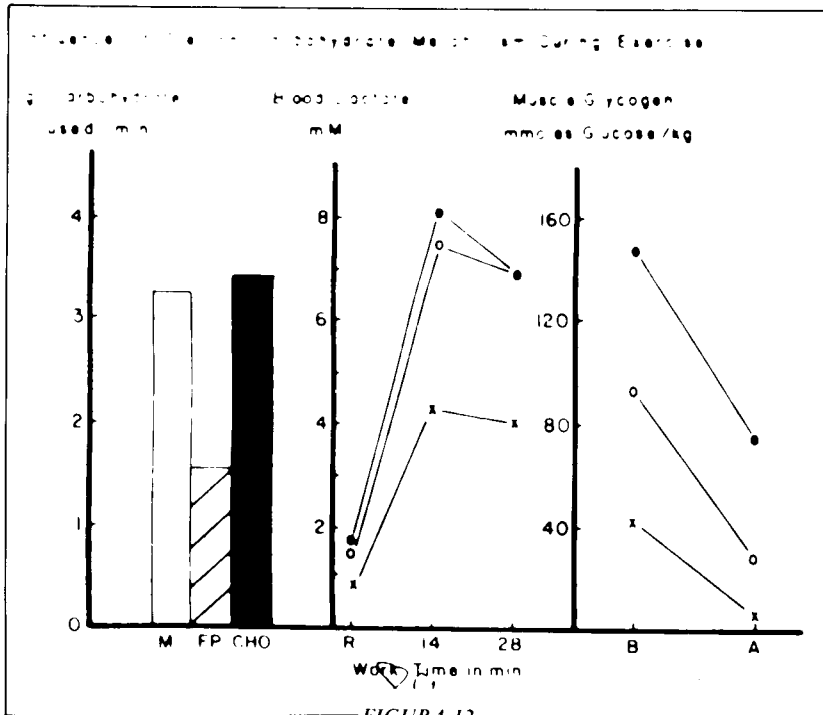
EL METABOLISMO DURANTE EL EJERCICIO

Después de todo lo dicho, resulta manifiesto que los dos grandes tipos de fibras (o de unidades motrices) que componen el músculo esquelético, difieren fundamentalmente, tanto en su perfil metabólico como en su modo de entrar en acción. Teniendo en cuenta su elevado potencial aeróbico, las fibras de tipo I parecen especialmente aptas para asegurar la oxidación de las grasas y de los glúcidos durante el ejercicio de baja intensidad. Concuera con ésto el hecho de que las mediciones de cociente respiratorio y de depósitos musculares de glucógeno han mostrado con claridad que la proporción de los glúcidos en el aporte energético aumenta con la intensidad del ejercicio. Esto concuerda a su vez con lo que conocemos sobre el modo de puesta en acción de las unidades motrices en función de la intensidad del ejercicio. Numerosos estudios han demostrado igualmente que el régimen alimenticio puede modificar de forma notable la naturaleza de los sustratos utilizados durante el ejerci-

cio, así como la duración del mismo (1,10,11,19,40). Son CHRISTENSEN y HANSEN (11) los que, en 1939, pusieron por primera vez de manifiesto la influencia del régimen alimenticio, gracias a una magnífica serie de experimentos. Trabajos más recientes han demostrado que estas modificaciones de la capacidad de trabajo van ligadas a las variaciones de la concentración de ácidos grasos libres y a la magnitud de las reservas musculares de glucógeno. (42). La Figura 12 ilustra algunos de los efectos de los cambios en el régimen alimenticio sobre la utilización de los glúcidos durante el ejercicio de intensidad moderada (alrededor del 60% de la capacidad aeróbica máxima).

Resulta interesante constatar que el mantenimiento de un metabolismo glucídico parece necesario incluso en ejercicio de baja intensidad, mientras que los lípidos, presentes en forma de ácidos grasos libres plasmáticos, parecerían constituir el sustrato energético mejor adaptado. En tales condiciones, el metabolismo glucídico se

pone de manifiesto por la utilización selectiva del glucógeno propio por parte de un pequeño número de unidades motrices (24), todas ellas del tipo I. Esta intervención de los glúcidos quizá sea necesaria para asegurar las reacciones anapleróticas que abastecen de los metabolitos intermediarios que permiten el funcionamiento del ciclo tricarbóxico. Esto último no constituye más que una hipótesis, no verificable por el momento con los conocimientos de que disponemos.



Influencia de la dieta sobre el metabolismo hidrocarbónico durante el ejercicio.

Carbohidratos Lactado en sangre Glucogeno muscular.

Tiempo de trabajo (en minutos).

Influencia del regimen alimenticio sobre la utilizacion de los glucidos durante el ejercicio de larga duracion. La columna y los redondeles claros representan los resultados obtenidos con una dieta normal, la columna y los redondeles oscuros, los resultados obtenidos tras un regimen hiperglucidico, y la columna rayada y las x corresponden a un regimen protido-lipidico. Datos extraidos y adaptados de la referencia (19).
 "g. carbohydrate used/min" = gramos de glucidos utilizados por minuto.
 "Blood lactate" = lactato en sangre.

RESUMEN

Esta comunicacion ha tratado sobre las caracteristicas del metabolismo y la contractilidad de los distintos tipos de fibras (o unidades motrices) que constituyen el músculo esquelético. Estaríamos dando una visión incompleta sobre el tema si olvidásemos mencionar, aunque sea brevemente, que si el músculo puede asegurar un funcionamiento continuo, es gracias a un aporte constante de sustratos energéticos y de oxígeno, así como de la evacuación de los desechos del metabolismo. Dicha tarea viene asegurada por el sistema circulatorio, sin los altos rendimientos del cual, las adaptaciones del músculo en respuesta al entrenamiento serían perfectamente inútiles. Esta realidad merece, pues, ser recordada, a pesar de que no forme parte del tema de estudio de este simposium.

REFERENCIAS

- 1.— ANDERSON, R.J., and G. LUSK: The interrelation of diet and body condition and the energy production during mechanical work - *J. Biol Chem*, 32: 421-445, 1917.
- 2.— BALDWING, K.M., G.H. KLINKERFUSS, R.L. TERJUNG, P.A. MOLE and J.O. HOLLOSZY: Respiratory capacity of white, red, and intermediate muscle: adaptive response to exercise - *Am. J. Physiol*, 222: 373-378, 1972.
- 3.— BALDWIN, K.M., W.W. WINDER, R.L. TERJUNG and J.O. HOLLOSZY: Glycolytic enzyme in different types of skeletal muscle: adaptation to exercise - *Am. J. Physiol.*, 225: 962-966, 1973.
- 4.— BARANY, M.: ATPase activity of myosin correlated with speed of muscle shortening - *J. Gen Physiol.*, 50: 197-218, 1967.
- 5.— BROOKE, M.H. and K.K. KAISER: The use and abuse of muscle histochemistry - *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 228: 121-144, 1974.
- 6.— BUCHTHAL, F. and H. SCHMALBRUCH: Spectrum of contraction times of different fibre bundles in the brachial biceps and triceps muscles of man - *Nature* 221: 89-91, 1969.
- 7.— BUCHTHAL, F., K. DAHL and D. ROSENFALCH: Rise time of the spike potential in fast and slowly contracting muscle of man - *Acta physiol. Scand.*, 79: 435-452, 1970.
- 8.— BUCHTHAL, F. and H. SCHMALBRUCH: Contraction time and fibre types in intact human muscle *Acta physiol. Scand* 79: 435-452, 1970.
- 9.— BURKE, R.E. and V.R. EDGERTON: Motor unit properties and selective involvement in movement. In: *Exercise and Sports Science Reviews*, edited by J.H. WILMORE, vol. 3, p. 31-81. New-York: Academic, 1975.
- 10.— CATHCART, E.P. and BURNETT, W.A.: The influence of muscle work on metabolism in varying conditions of diet.- *Proc. Roy Soc. London (B)*, 99: 405-426, 1925.
- 11.— CHRISTENSEN, E.H. and O. HANSEN: Arbeitsfähigkeit und Ernährung - *Skand. Arch Physiol.*, 81: 160-171, 1939.
- 12.— COSTILL, D.L., E.F. COYLE, W.F. FINK, G.R. LESMES and F.A. WITZMANN: Adaptations in skeletal muscle following strength training - *J. Appl. Physiol.*, 46: 96-99, 1979.
- 13.— DESMEDT, J.E. and E. GODAUX: Fast motor units are not preferentially activated in rapid voluntary contractions in man - *Nature*, 267: 717-719, 1977.
- 14.— DESMEDT, J.E. and E. GODAUX: Ballistic contractions in man: characteristic recruitment pattern of single motor units of the tibialis anterior muscle - *J. Physiol.*, 264: 673-693, 1977.
- 15.— EBERSTEIN, E. and J. GOODGOLD: Slow and fast twitch fibers in human skeletal muscle - *Am. J. Physiol.*, 215: 535-541, 1968.
- 16.— EDSTROM and B. EKBLUM: Differences in sizes of red and white muscle fibres in vastus lateralis of muscululus quadriceps femoris of normal individuals and athletes. Relation to physical performance - *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 30: 175-181, 1972.
- 17.— ESSEN, B., E. JANSSON, J. HENRIKSSON, A.W. TAYLOR and B. SALTIN: Metabolic characteristics of fibre types in human skeletal muscles - *Acta physiol. Scand.*, 95: 153-165, 1975.
- 18.— GOLLNICK, P.D., R.B. ARMSTRONG, C.W. SAUBERT IV., K. PIEHL and B. SALTIN: Enzyme activity and fiber composition in skeletal muscle of untrained and trained men - *J. Appl. Physiol.*, 33: 312-319, 1972.
- 19.— GOLLNICK, P.D., K. PIEHL, C.W. SAUBERT IV., R.B. ARMSTRONG and B. SALTIN: Diet, exercise and glycogen changes in human muscle fibers - *J. Appl. Physiol.*, 33: 421-425, 1972.
- 20.— GOLLNICK, P.D., R.B. ARMSTRONG, B. SALTIN, C.W. SAUBERT IV., W.L. SEMBROWICH and R.E. SHEPERD: Effect of training on enzyme activity and fiber composition of human skeletal muscle - *J. Appl. Physiol* 34: 107-111, 1973.
- 21.— GOLLNICK, P.D., R.B. ARMSTRONG, W.L. SEMBROWICH, R.E. SHEPERD and B. SALTIN: Glycogen depletion pattern in human skeletal muscle fibers after heavy exercise - *J. Appl. Physiol.*, 34: 615-618, 1973.
- 22.— GOLLNICK, P.D., R.B. ARMSTRONG, C.W. SAUBERT IV., W.L. SEMBROWICH, R.E. SHEPERD and B. SALTIN: Glycogen depletion patterns in human skeletal muscle fibers during prolonged work - *Pfluegers Arch.*, 344: 1-12, 1973.
- 23.— GOLLNICK, P.D. and L. HERMANSEN: Biochemical adaptations to exercise: anaerobic metabolism. In: *exercise and Sports Science Reviews*, edited by J.H. WILMORE, Vol. 1, p. 1-43, New York: Academic, 1973.
- 24.— GOLLNICK, P.D., K. PIEHL and B. SALTIN: Selective glycogen depletion pattern in human muscle fibres after exercise of varying intensity and at varying pedalling rates - *J. Physiol.*, 241: 45-57, 1974.
- 25.— GOLLNICK, P.D., J. KARLSSON, K. PIEHL and B. SALTIN: Selective glycogen depletion in skeletal muscle fibres of man following sustained contractions - *J. Physiol.*, 241: 59-67, 1974.
- 26.— GOLLNICK, P.D. and W.L. SEMBROWICH: Adaptations in human skeletal muscle In: *Exercise in Cardiovascular Health and Disease*, edited by E.A. AMSTERDAM, J.H. WILMORE and A.N. De Maira, p. 7-94, New-York: Yorke, 1977.
- 27.— GONYEA, W., G.C. ERICSON and F. BONDE-PETERSEN: Skeletal muscle fiber splitting induced by weight-lifting exercise in cats - *Acta physiol. Scand.*, 99: 105-109, 1977.
- 28.— GRIMBY, L. and J. HANNERZ: Recruitment order of motor units on voluntary contraction: Changes induced by proprioceptive afferent activity - *J. Neurol. Neurosurg. Psychiat.*, 31: 565-573, 1968.

FLEXAGIL

FLEXIBILIDAD · AGILIDAD

Fórmula: Por comprimido:

Carisoprodol 300 mgrs.
Propifenazona 150 mgrs.

Por supositorio: Doble cantidad.

Dosificación

1 ó 2 comprimidos o 1 supositorio 3 veces al día.

Indicaciones terapéuticas

Esguinces, torceduras y contusiones musculares. Miositis inflamatorias, infecciosas o víricas (gripe). Artrosis. Torticolis. Lumbago. Artritis (escapulo-humeral, síndrome hombro-mano, lumbalgias, hernia discal).

Síndrome del escaleno. Medicina laboral y deportiva.

Contraindicaciones

Úlcera gastro-intestinal en fase de actividad.

Incompatibilidades

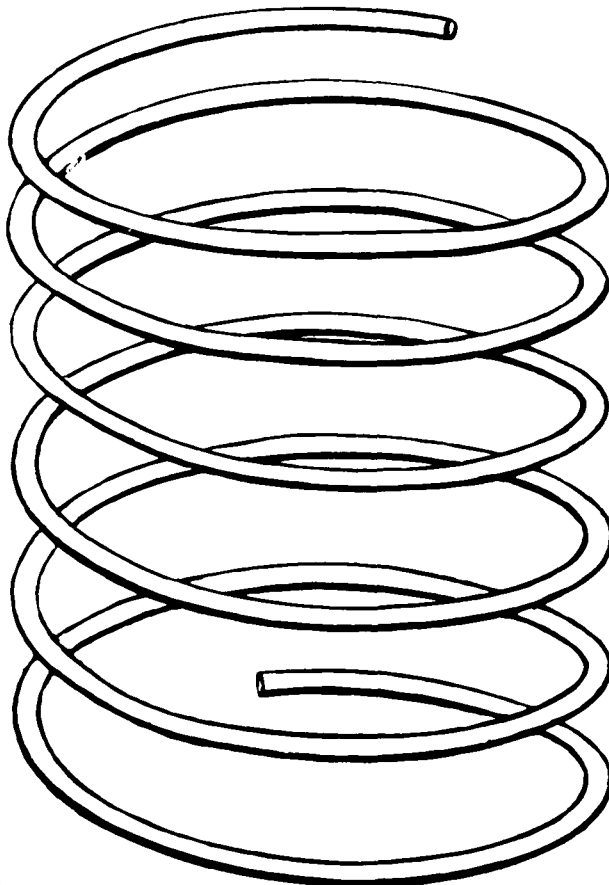
No presenta.

Efectos secundarios

Somnolencia o euforia. Dispepsia gástrica. Sensibilidad cutánea o alérgica a los componentes de FLEXAGIL.

Caja con 24 comprimidos. P.V.P. 158'— Ptas.

Caja con 12 supositorios. P.V.P. 158'— Ptas.



Industrial Farmacéutica de Levante, S.A.

Mallorca, 216 - BARCELONA-8
Plaza Isabel II, 5 - MADRID-13