

SELECCIONES

Aspectos metabólicos del caballo atleta

María P. Arias G. MV. MS.
Facultad de Medicina Veterinaria y de Zootecnia
Universidad de Antioquia

Resumen

El hombre ha seleccionado al caballo como animal de trabajo y de deporte, es así como en nuestro medio cada vez cobran más acogida las carreras de velocidad, las carreras a campo traviesa, la equitación y las exhibiciones en pista. La preparación de los equinos para las diversas competencias deportivas exige un buen conocimiento de las respuestas y adaptaciones fisiológicas al ejercicio, esto permite adoptar estrategias específicas en su manejo con el fin de optimizar dichas adaptaciones y lograr una buena preparación de los caballos de alto rendimiento. Si se comparan los distintos eventos, es claro que hay gran diferencia en la demanda energética y las funciones bioquímicas durante el ejercicio; sin embargo, en general, la provisión de energía se obtiene en todas estas actividades a partir del glucógeno hepático y muscular y de los depósitos de grasa (5). Durante el ejercicio hay un suministro de energía aeróbico y anaeróbico simultáneamente, aunque el sistema aeróbico predomina en actividades de resistencia, en actividades de potencia participan los sistemas anaeróbicos principalmente; sin embargo, se debe tener en cuenta que el sistema aeróbico oxidativo se activa en todos los eventos (3). Esto tiene implicaciones importantes para la planificación del entrenamiento, pues se debe tener claridad sobre las cualidades que se quieren desarrollar (la resistencia, la velocidad o ambas) y dirigirlo en función de aquello que se desea conseguir.

Palabras clave: adaptación, ejercicio, entrenamiento, fibra muscular y metabolismo.

Introducción

El caballo se ha considerado como “el atleta élite” por excelencia entre todas las especies animales, ya que su gran adaptabilidad metabólica secundaria a la plasticidad de las fibras musculares y su excepcional capacidad cardiorespiratoria le permiten desarrollar tanto la resistencia como la fuerza, cualidades necesarias para alcanzar un buen desempeño deportivo (1). Aprovechando estas cualidades anatómicas y fisiológicas innatas del equino, el hombre ha creado desde hace tiempo varias actividades deportivas en binomio (jinete-caballo), como la equitación de salto, la alta escuela o *dressage*, las carreras de velocidad, las carreras a campo traviesa o *raids*, las contiendas, el polo,

el hockey, el rejoneo y las exhibiciones de paso. Para cada modalidad deportiva existe una selección racial, debido a que la composición muscular es el principal factor determinante de la aptitud física del caballo, y la proporción de los diferentes tipos de fibras musculares en el equino está determinado genéticamente. Así que se ha destinado preferencialmente a los caballos *cuarto de milla* para carreras de velocidad de 400 a 1000 m, a los caballos *purasangre inglés (PSI)* para carreras de velocidad de 1000 a 2200 m, a los caballos andaluces para el salto, a los caballos árabes para actividades de resistencia y al caballo criollo colombiano para exhibiciones en pista en los aires de trocha, galope, trote y paso fino y también para los *rides* (3).

En las diferentes disciplinas deportivas, el entrenamiento físico no modifica las características morfológicas del equino, las cuales están determinadas genéticamente, pero sí mejora su capacidad de adaptación, ya que influye sobre algunos parámetros fisiológicos y sobre la capacidad funcional del animal. Los esfuerzos físicos repetitivos a través de un período largo de trabajo conducen a variaciones en los sistemas metabólico, cardiovascular y respiratorio, lo cual hace posible responder a la demanda metabólica exigida por actividad corporal específica, bien sea deportiva o de trabajo (5).

El principal factor limitante para alcanzar un buen nivel competitivo en los diferentes eventos es el suministro de combustible a la célula muscular, limitado por la eficiencia del metabolismo energético (8). Por esto, es importante conocer el funcionamiento normal del metabolismo en el caballo atleta, pues sus adaptaciones fisiológicas al ejercicio exigen un excelente y cuidadoso manejo del entrenamiento, de la salud y de la alimentación por parte de los preparadores, los médicos veterinarios y los zootecnistas, quienes deben trabajar conjuntamente para lograr el mayor rendimiento deportivo en estos atletas naturales.

El metabolismo basal se define como la energía necesaria para la conservación de diversas actividades celulares, fundamentales para el mantenimiento de la vida como son: la conservación de la temperatura corporal, la realización de un trabajo mecánico, la transmisión de impulsos nerviosos, el transporte de sustancias y la realización de otros procesos fisiológicos esenciales. Esto implica múltiples reacciones bioquímicas secuenciales y coordinadas para generar la energía requerida por dichos procesos. Las células y los tejidos son sistemas abiertos e intercambian energía constantemente con el medio; la energía química potencial de los nutrientes básicos (carbohidratos, grasas y proteínas) se transforma metabólicamente en energía mecánica que el organismo puede utilizar (4).

Las principales fuentes de energía en el caballo son la glucosa y los ácidos grasos. La eficiencia con la cual estos sustratos proporcionan energía es mejor en animales que se encuentran bajo un programa regular de entrenamiento de resistencia, tanto en reposo como durante el ejercicio. En términos generales, los ácidos grasos volátiles proveen más energía que la glucosa, pero su metabolismo es más lento, así que, en reposo, una tercera parte de las necesidades energéti-

cas en el equino son cubiertas por la oxidación de los carbohidratos y las dos terceras partes restantes son cubiertas por la oxidación de las grasas (7).

La mayor parte de los carbohidratos consumidos se absorben en el intestino delgado. Una vez en la sangre, la glucosa puede depositarse en el hígado como glucógeno, el cual será utilizado para suministrar glucosa al organismo mediante glucogenólisis, según las necesidades de los tejidos extrahepáticos; también puede ir al músculo esquelético y al corazón para producir energía mediante glucólisis, sobre todo cuando los depósitos de glucógeno están reducidos, por ejemplo en el ayuno, o puede ser metabolizada en el sistema nervioso, el riñón o los glóbulos rojos inmediatamente. La regulación de la glicemia es algo complejo y requiere de la participación de varias hormonas: la insulina, el glucagón y las hormonas tiroideas se secretan coordinadamente en períodos de inactividad física para mantener la glicemia constante (17). El caballo sólo mantiene una baja cantidad de glucosa de reserva (menos del 1% de su peso), así que cuando los depósitos hepáticos y musculares de glucógeno están llenos, los carbohidratos adicionales aportados en la dieta son transformados en grasas y depositados en el tejido adiposo. La razón de esto es que debido al mayor rendimiento energético de las grasas, el caballo puede almacenar más energía en el tejido adiposo sin aumentar sustancialmente el peso corporal, constituyendo éste el mayor depósito energético del organismo; motivo por el cual el caballo utiliza selectivamente los ácidos grasos volátiles como fuente de energía durante períodos de bajo nivel de actividad física como mantenerse en pie o caminar (7).

Para que los triglicéridos puedan ser utilizados como sustratos energéticos deben ser hidrolizados (lipólisis) en dos componentes: glicerol y ácidos grasos libres. La lipólisis está estimulada constantemente y los ácidos grasos son metabolizados a una velocidad que depende de su tasa de utilización por los tejidos. La actividad de la lipasa está regulada por diferentes hormonas, de ellas, las más importantes son: la insulina, que disminuye su actividad e inhibe la utilización de grasas para producir energía y la adrenalina que la estimula, y por ende, acelera la movilización de grasas (11). Los ácidos grasos son oxidados por β -oxidación; ahora se sabe que ésta es la vía metabólica principal por la cual estos compuestos son oxidados en el organismo. El glicerol derivado de la hidrólisis de los triglicéridos puede entrar en

reacciones de glucólisis para formar piruvato y entrar al ciclo de Krebs para generar energía. De igual manera la acetilcolina proveniente de la oxidación de los ácidos grasos puede entrar al ciclo de Krebs donde se combina con oxaloacetato procedente del metabolismo de los carbohidratos para formar citrato y posteriormente oxidarse hasta CO₂ y agua (5).

Los aminoácidos (productos de la digestión de las proteínas) después de ser absorbidos en el intestino delgado se dirigen principalmente hacia el hígado, donde sufren un proceso de desaminación. En el hígado, los aminoácidos pueden ser precursores de la síntesis de glucosa y glucógeno, aunque su función principal es la de construir y reparar los tejidos cuyas proteínas sufren una destrucción constante, especialmente el tejido muscular. El organismo no dispone de una reserva de proteínas, al menos, no comparable a los depósitos de grasa y, en alguna medida, a los carbohidratos (18).

Ahora bien, durante el ejercicio, la contracción muscular demanda un gasto de energía mayor que en condiciones basales, el cual varía considerablemente según el tipo, la intensidad y la duración de la actividad física realizada y del estado físico del animal; por esto, un buen rendimiento y desempeño deportivo dependen, en gran parte, de un adecuado aporte energético a los músculos, el cual se obtiene de los sustratos provenientes del organismo y de la ingestión de nutrientes (3).

Cuando se realiza una actividad física, la glucosa y los ácidos grasos son los principales sustratos utilizados por el equino para suplir la demanda energética; el consumo de proteínas con este fin es poco relevante. Estos sustratos no son utilizados directamente por el músculo, sino que deben transformarse en adenosín-trifosfato (ATP) para ser utilizados por la fibra muscular como energía. La formación y el desdoblamiento (hidrólisis) del ATP son procesos continuos en el organismo, pero la velocidad de síntesis es mayor que la de hidrólisis en condiciones de reposo, mientras que durante el ejercicio ocurre lo contrario (predomina la hidrólisis), por el aumento de la demanda energética (5).

Los sistemas orgánicos que posibilitan la adecuada síntesis de ATP dependen de las características estructurales y bioquímicas del músculo, además, estos sistemas metabólicos se adaptan al tipo de entrenamiento al cual está sometido el caballo.

Se han descrito tres sistemas implicados en la síntesis de ATP: 1) *el sistema de creatina fosfato ATP*; 2) *el sistema anaeróbico láctico* y 3) *el sistema aeróbico oxidativo* (8).

La energía del *sistema metabólico de creatina fosfato ATP* utiliza como sustratos las reservas de fosfógeno de las células musculares. Al inicio del ejercicio, el ATP se hidroliza en ADP y fosfato (Pi) para proporcionar la energía para la contracción muscular. El incremento de ADP en la célula estimula la actividad de la enzima Creatín-quinasa, de manera que ella descompone otro metabolito rico en energía, la creatina fosfato (PC). Una vez este compuesto se hidroliza, su fosfato es donado al ADP para resintetizar ATP con la energía generada (véase figura 1).

Sucede que el almacenamiento de ATP en la célula muscular es muy limitado, por lo tanto, el ATP debe ser reciclado continuamente. La resíntesis del ATP se realiza rápidamente y sin participación de oxígeno en condiciones de reposo o durante una actividad física ligera o moderada (11).

La concentración de PC es 5 veces mayor que la del ATP, por esto, la mayor parte de energía celular potencial se almacena fundamentalmente como PC. Su agotamiento completo ocurre después de 5 segundos de esfuerzo máximo. El acoplamiento de las reacciones del ATP y la PC posibilita que esta última se deplete primero, de tal forma que cuando se ha gastado el 90% de la PC, el ATP sólo ha disminuído un 10% (2).

La resíntesis de fosfocreatina también requiere energía, la cual se obtiene, paradójicamente, por la hidrólisis del ATP; sin embargo, esto sólo ocurre durante la recuperación del ejercicio, cuando se dispone de buena cantidad de otros sustratos no comprometidos en la actividad muscular (8).

Esta vía metabólica sólo permite la ejecución de trabajos cortos de potencia (a la máxima intensidad posible), además, este sistema predomina al inicio de cualquier tipo de actividad física (19).

Como dicho sistema se agota rápidamente, la célula muscular recurre al *sistema glucolítico oxidativo* para obtener ATP; esta vía metabólica utiliza como sustratos energéticos los carbohidratos. Durante el ejercicio, el glucógeno hepático se convierte en glucosa, la cual es liberada a la sangre circulante, de tal forma que la glicemia permanece estable y sólo dis-

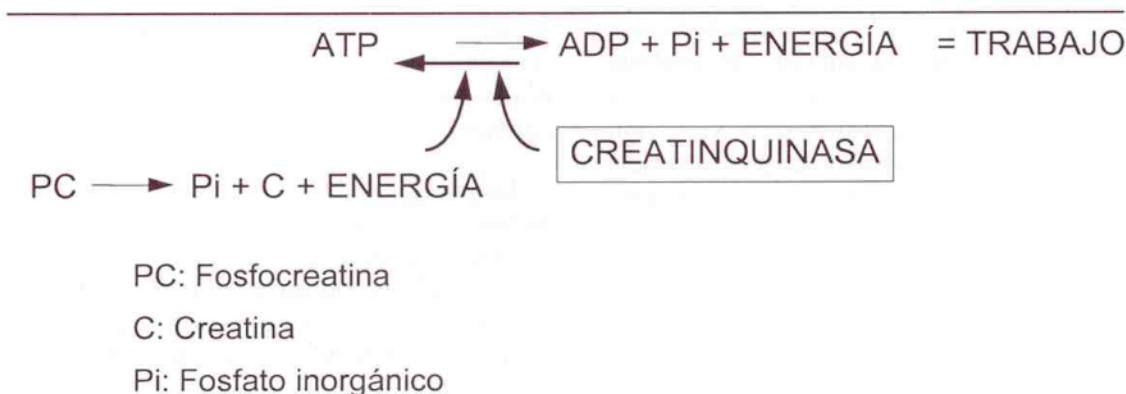


Figura 1. Metabolismo de la fosfocreatina y resíntesis del ATP

minuye después de una actividad física de muy larga duración (15). El aporte de glucosa al músculo se realiza principalmente a partir del glucógeno hepático y en menor grado del glucógeno muscular; una fracción significativa de glucosa se degrada mediante el proceso de glucólisis en las fibras musculares, con el fin de generar la energía necesaria para mantener su trabajo; otra fracción se dirige hacia el sistema nervioso, los glóbulos rojos o los riñones, órganos completamente dependientes de glucosa para obtener su energía (14). La glucólisis implica el catabolismo de la glucosa hasta piruvato en el citosol, proceso que se lleva a cabo sin la participación directa de oxígeno; por esto, algunos bioquímicos emplean el término de glucólisis anaeróbica, sin embargo se ha establecido que tanto en presencia como en ausencia de oxígeno se activa esta vía metabólica, así que es conveniente hablar simplemente de glucólisis.

El rendimiento energético neto de la glucólisis equivale a la síntesis de dos (o cuatro) moléculas de ATP, esta producción de energía es menos eficiente que la oxidación de la glucosa en el ciclo de Krebs; además del menor rendimiento de este proceso, aquí se generan dos moléculas de ácido láctico (13). Debido al pK del ácido láctico (3,9), la mayor parte de éste se disocia al pH normal de la célula muscular (7,0), originando lactato e hidrogeniones (H^+); estos últimos son tamponados por el bicarbonato (HCO_3^-) en las células musculares (20); secundariamente, aumenta la producción de dióxido de carbono (CO_2) y disminuye la concentración intracelular de HCO_3^- durante el ejercicio; en cambio en el plasma la concentración de HCO_3^- disminuye y la del lactato incrementa. La intensidad de trabajo a la cual comienza a elevarse el lactato sanguíneo por encima del nivel basal es diferente para cada

caballo; este fenómeno metabólico se conoce como umbral anaeróbico y se alcanza a una concentración de lactato de 4 mmol/L (19) (véase figura 2).

Hasta hace pocos años se consideraba el lactato como un producto de desecho de la glucólisis y responsable directo de la fatiga muscular. Sin embargo, ahora se sabe que el incremento de lactato *per se* no causa fatiga y que es un sustrato metabólico intermedio que puede ser utilizado como fuente de energía. Actualmente, existen dos hipótesis sobre la utilización del lactato:

La primera sugiere que el lactato puede pasar desde los músculos activos hacia otros tejidos, como los músculos inactivos, el hígado o el corazón; así, el lactato es utilizado para sintetizar nuevamente glucosa en el hígado mediante gluconeogénesis y constituye el sustrato energético más importante para el metabolismo oxidativo de las células cardíacas (8).

La segunda hipótesis sugiere que los músculos producen y utilizan lactato tanto en reposo como durante el ejercicio. El lactato producido en algunas fibras musculares (probablemente las fibras tipo II o rápidas) es transportado a otras fibras (tipo I o lentas) que lo utilizan como sustrato para obtener energía a través de la vía oxidativa.

Se ha informado que cuando los caballos realizan una actividad física ligera (como caminar) después de un ejercicio intenso, la captación de lactato por el miocardio aumenta. La contribución del lactato para obtener energía es más importante aún durante el ejercicio intenso y en la recuperación (13).

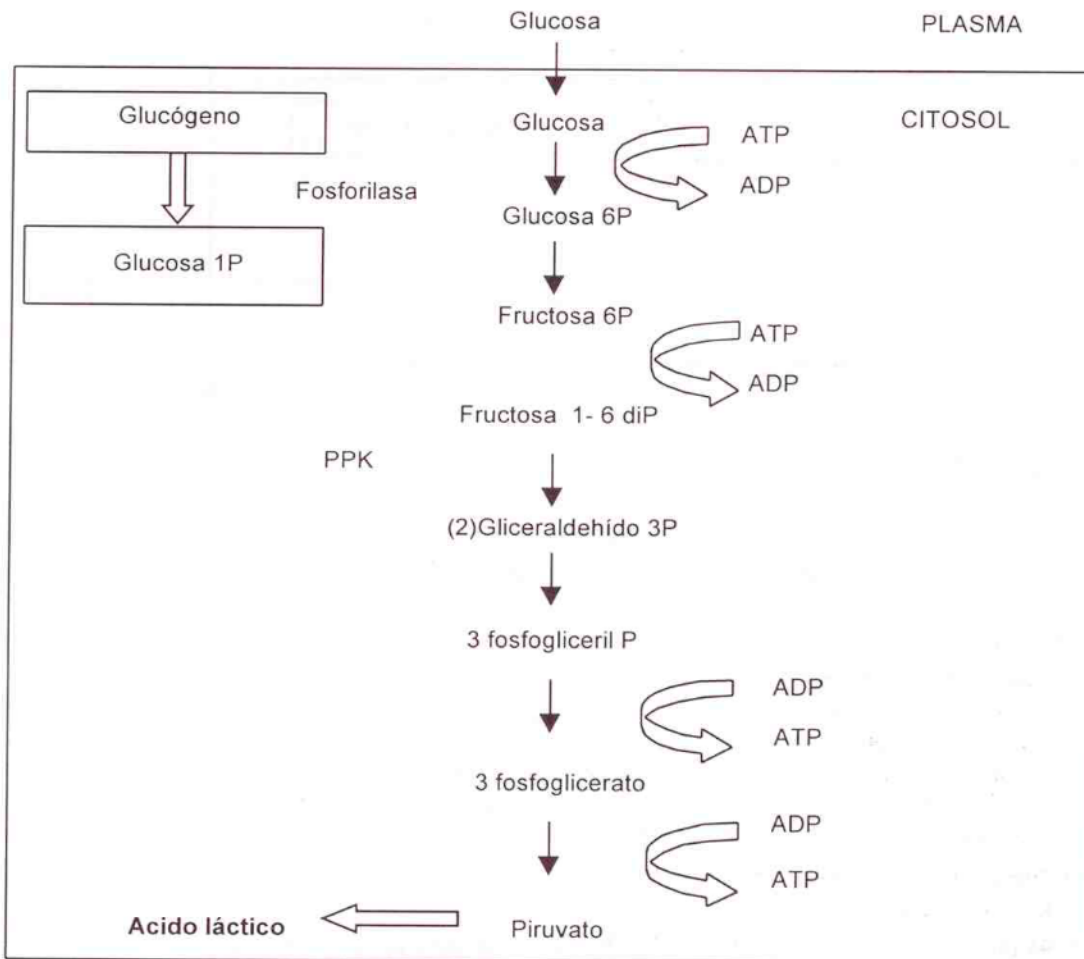


Figura 2. Esquema general del metabolismo anaeróbico láctico en la célula muscular

Tomado de López J (8)

Este sistema glucolítico puede brindar energía para actividades de hasta 60 segundos de duración aproximadamente a la máxima intensidad posible o durante más tiempo a una intensidad moderada (7).

Por último, para realizar actividades de alta intensidad y de más de 120 segundos de duración, la energía producida proviene del sistema aeróbico oxidativo, el cual utiliza como sustratos energéticos los carbohidratos, los ácidos grasos y las proteínas, permitiendo mantener por largo tiempo la contracción muscular (10). Este sistema aumenta la producción endógena de glucosa a partir de glucógeno (glucólisis) y de aminoácidos, glicerol y lactato (gluconeogénesis), para suplir el incremento de su gasto por los tejidos, al mismo tiempo que la glicemia se mantiene; esto es importante en la actividad física prolongada, para suministrar glucosa al sistema nervioso.

El caballo puede utilizar las proteínas como fuente de energía durante el ejercicio, pero su contribución a la producción total de energía no supera el 8% (2) (véase figura 3).

Sin embargo, la participación de estos sistemas no ocurre en el orden cronológico descrito, ni se activan independientemente en una actividad física determinada, sino que hay un solapamiento continuo entre ellos con predominio de uno u otro según la demanda energética y la intensidad del trabajo (11).

Además del control metabólico intrínseco de la producción de energía, determinado por la actividad enzimática de las distintas vías mencionadas, existe también un control extrínseco del metabolismo ejercido por el sistema neuroendocrino. La hipófisis anterior es el centro de dicho control, sus secreciones

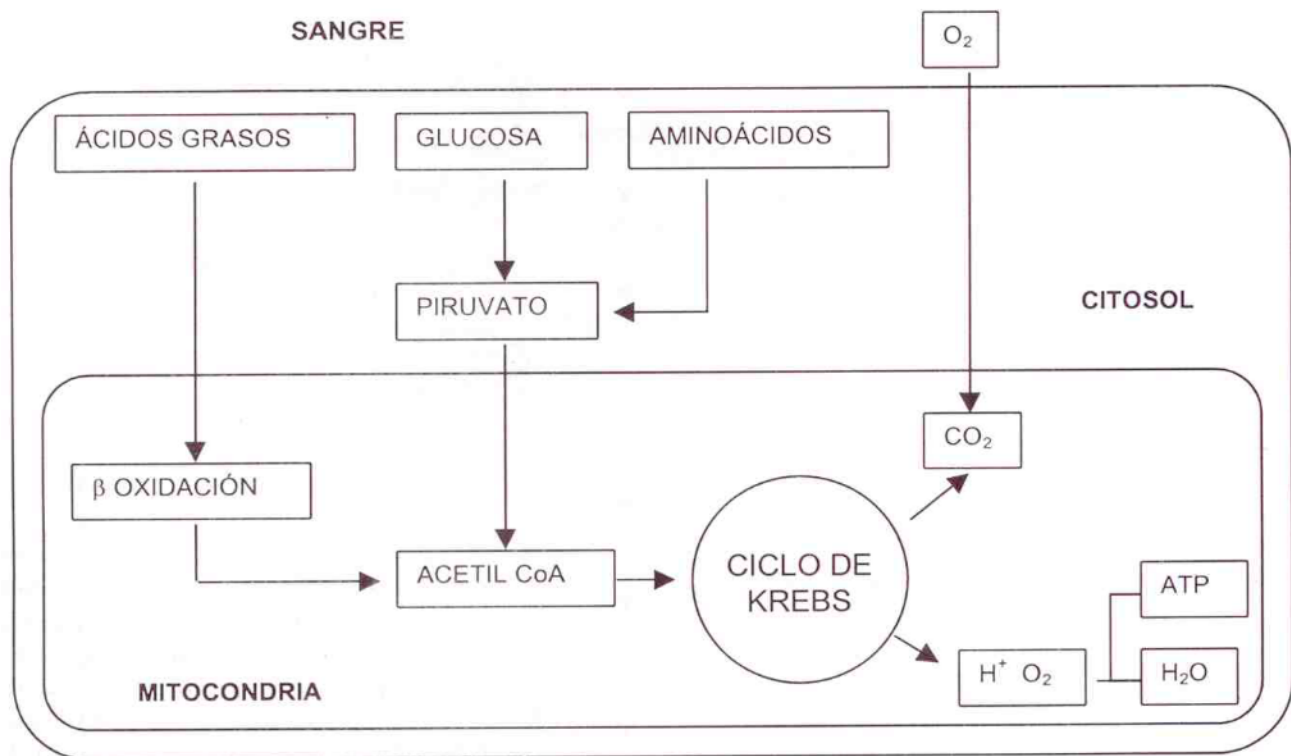


Figura 3. Esquema general del metabolismo oxidativo

Tomado de López J (8)

hormonales durante el ejercicio regulan el metabolismo a través de la adrenalina, el glucagón, la insulina, la hormona del crecimiento, las hormonas tiroideas y el cortisol (4). El otro factor decisivo sobre la participación de estos sistemas durante el ejercicio es la conformación del músculo esquelético por distintos tipos de fibras musculares y su actividad según la naturaleza de sus placas motoras o su inervación (14).

Los distintos tipos de fibras musculares se han clasificado en función de las diferencias metabólicas y funcionales; según estas características y la diferenciación histoquímica de la enzima ATPasa miofibrilar se pueden definir dos grupos de fibras en el músculo esquelético del equino: las fibras oxidativas o tipo I y las fibras glucolíticas o tipo II. El porcentaje de fibras I y II determina el rendimiento físico en actividades de resistencia o de potencia y está determinado genéticamente, como ya se mencionó (13).

Las fibras tipo I son de color rojizo (debido a que tienen gran cantidad de mioglobina), presentan un sarcoplasma abundante con un retículo sarcoplásmico muy

desarrollado, un alto número de mitocondrias y bajo número de miofibrillas comparadas con las fibras tipo II; el aporte sanguíneo es muy elevado, lo que posibilita un gran intercambio metabólico y gaseoso (12). Por estas cualidades, su metabolismo es esencialmente oxidativo, lo que hace que los sustratos utilizados como fuente de energía sean principalmente los triglicéridos y los carbohidratos. Son fibras altamente resistentes a la fatiga (10).

La participación de estas fibras predomina en actividades prolongadas y de leve o moderada intensidad, estando especialmente desarrolladas en caballos que realizan actividades de resistencia, como los *rides* (3).

Las fibras tipo II presentan un sarcoplasma menos abundante que las fibras tipo I, un retículo sarcoplásmico mejor desarrollado, con alta concentración de calcio y calcicuestrina, lo que posibilita las contracciones rápidas y repetitivas; poseen baja cantidad de mitocondrias y las miofibrillas son bien desarrolladas.

Tienen una concentración de glucógeno mayor que las fibras tipo I y la concentración de triglicéridos es

baja. Las mitocondrias son poco abundantes y hay menor número de capilares sanguíneos por superficie de área muscular, lo cual refleja una menor actividad del metabolismo oxidativo. En estas fibras predomina el metabolismo glucolítico. El reclutamiento de estas fibras predomina en actividades de potencia (16).

Con la aplicación de técnicas histoquímicas más avanzadas ha sido posible clasificar varios subtipos de fibras; en el equino se han identificado los subtipos IIA, IIB, IIAB y IIC (5).

Las fibras tipo IIA tienen características de fibras rápidas y, en menor grado, de las fibras tipo I. Su diámetro es mayor el de las fibras I y IIB, tienen alta cantidad de mitocondrias y la concentración de mioglobina es elevada. Están rodeadas de numerosos capilares, por lo tanto tienen un potencial oxidativo que las fibras tipo IIB y, al mismo tiempo, un potencial glicolítico mayor que las fibras I. Son fibras resistentes a la fatiga (3).

Las fibras tipo IIB son las que mejor responden a la descripción de las fibras tipo II. Su metabolismo oxidativo es bajo, en cambio, su metabolismo glucolítico es altamente desarrollado. Debido a la alta fatigabilidad de estas fibras, su actividad es muy reducida (15).

La importancia del descubrimiento de estos subtipos de fibras radica en que el entrenamiento puede realizar transformaciones en los subtipos de fibras musculares que no están totalmente diferenciadas y se denominan formas de transición; estas son las fibras IIAB y IIC (10).

Las fibras IIAB se sitúan entre las fibras tipo IIA y IIB por sus características metabólicas y funcionales; este tipo no diferenciado de fibras puede evolucionar en función del tipo de entrenamiento al cual se someten los caballos hacia el tipo de fibras IIB -de potencia- o IIA -de resistencia- (3).

Las fibras IIC corresponden a las formas metabólicas intermedias entre las fibras I y IIA. Algunos investigadores afirman que el neonato posee gran proporción de este tipo de fibras y que posteriormente, debido a los múltiples estímulos, se convierten en fibras I o IIA. No se ha demostrado que haya cambio entre los dos tipos principales de fibras mus-

culares (I y II), aunque sí es posible que dentro de las fibras II, el entrenamiento regular modifique la proporción de los subtipos IIA y IIB (5).

En cuanto a la composición y distribución de los distintos tipos de fibras musculares, éstas difieren en todos los músculos de un animal. Así que ciertos músculos en los equinos son similares en su proporción de fibras musculares (2).

Además, existen diferencias regionales en la distribución de los distintos tipos de fibras, que se deben, posiblemente, a las diferencias en la localización de la unidad motora, la cual es diferente para cada clase de fibras. La innervación motora es la responsable de las propiedades histológicas, histoquímicas y fisiológicas de las fibras musculares. El reclutamiento de los distintos tipos de fibras está gobernado por la actividad de los nervios motores, de esta manera, la participación de las fibras II durante el ejercicio siempre va precedido por el de las fibras tipo I, aunque la velocidad de contracción no determina el reclutamiento de uno u otro tipo de fibra, sino el nivel de fuerza o la intensidad del trabajo que se demanda para una actividad específica (8).

Integrando lo anterior, se ha establecido que para la ejecución de trabajos de potencia explosiva, es decir, de alta intensidad (al 80% de la frecuencia cardíaca máxima) y de corta duración (50 segundos o menos), por ejemplo, las carreras de 400 a 1500 m de distancia predomina la participación del *sistema metabólico de la creatina fosfato ATP*. La mayor participación muscular es primordialmente de fibras tipo IIB. El cuarto de milla, con un 100% de fibras tipo II, es el caballo preferido en esta modalidad y aunque no tan veloces, pero con mayor resistencia a la fatiga, también los purasangre, con un 99% de fibras tipo II son escogidos para estas carreras (3).

Para realizar trabajos de alta intensidad por un tiempo mayor de 50 segundos, como las carreras de 1500 a 2200 m, se utilizan tanto *el sistema anaeróbico aláctico* como *el sistema anaeróbico láctico*. En estas circunstancias predomina el reclutamiento de las fibras tipo II. Los caballos que corren estas distancias son los purasangre, quienes poseen un gran desarrollo de los tipos de fibras IIA y IIB, así que pueden realizar una actividad de velocidad y tolerancia por un período de tiempo mayor que los cuarto de milla por ejemplo sin percibir tan rápido la fatiga (13).

En las actividades de intensidad moderada o variable (del 50% al 75% de la frecuencia cardíaca máxima), como el salto, los caballos andaluces, con un porcentaje equitativo de fibras tipo I y II, son los elegidos. Esta actividad recluta alternamente fibras tipo II y I durante momentos de esfuerzo máximo (salto) seguidos de esfuerzo submáximo (trote) respectivamente (5).

Para realizar trabajos de alta o variable intensidad y larga duración (*raids*), la producción de ATP para mantener por un largo período la actividad muscular se realiza a través del sistema aeróbico oxidativo. El caballo árabe con un 80% de fibras oxidativas y el caballo criollo colombiano (mezcla de caballo árabe y andaluz) tienen especial aptitud para esta modalidad al poseer gran cantidad de fibras oxidativas o de tipo IIA, aunque aún no se ha determinado en nuestro medio la proporción exacta de los tipos y los subtipos de fibras en el caballo criollo colombiano (13) (véase tabla 1).

Tabla 1. Estimación del porcentaje de contribución relativa de los diferentes sistemas metabólicos en varias actividades

<i>Evento</i>	<i>Creatina fosfato</i>	<i>Fosfato anaeróbica</i>	<i>Glucólisis aeróbico</i>
Carreras de 400m.	80	18	2
Carreras de 1000m	25	70	5
Carreras de 1600m	10	80	10
Carreras de 2400m	5	70	25
Carreras de 3200 m	5	55	40
Polo	5	50	45
Salto	15	65	20
Carreras largas	10	40	50
Rides	1	5	94

Es importante tener en cuenta que las respuestas repetitivas conllevan a adaptaciones, es decir, cambios a largo plazo que se manifiestan incluso en el animal en reposo; mientras que las respuestas son modificaciones agudas que experimentan los sistemas fisiológicos en respuesta a un estímulo (el ejercicio); así pues, según la modalidad deportiva, se debe planificar el programa de entrenamiento para desarrollar más ciertos subtipos de fibras musculares y por ende, el sistema metabólico utilizado por este tipo de fibras (18).

El atleta de alto rendimiento necesita un entrenamiento específico, cada animal requiere un tratamiento particular considerando su edad, características morfológicas y

fisiológicas y la actividad física que realiza. Los diferentes tipos de carreras permiten desarrollar la velocidad y la fuerza o, la resistencia en todas sus variantes. Las sesiones de ejercicio de moderada intensidad y de larga duración, como la carrera continua lenta, estimula el desarrollo de las fibras lentas o tipo I y de las fibras rápidas oxidativas o IIA, mejorando la eficiencia del metabolismo oxidativo y la condición cardiovascular. Las sesiones cortas de actividad física intensa favorecen el desarrollo de las fibras rápidas glucolíticas o tipo IIB y consecuentemente, el metabolismo anaeróbico; también mejora la coordinación neuromuscular. Las carreras en cuestas permiten desarrollar tanto la velocidad como la fuerza, y el metabolismo anaeróbico láctico. Cualquiera de estos entrenamientos no solo mejoran la eficiencia metabólica, sino también la capacidad cardiorespiratoria en algún grado, esto debe ser controlado mediante la frecuencia cardíaca. Se puede alternar la intensidad y la duración de las sesiones de entrenamiento según lo que se quiere mejorar: resistencia o velocidad (2).

Por otro lado, se debe tener cuidado con los esfuerzos durante el entrenamiento, la recuperación y la alimentación, ya que cuando se trabaja al más alto nivel se puede llevar al animal a un sobreentrenamiento; si esto ocurre, el caballo presenta un estado de fatiga que se refleja en un mal rendimiento, y una mayor incidencia de lesiones de sobrecarga; estos estados patológicos se deben evitar cuando se pretende alcanzar el máximo rendimiento (9).

Finalmente, el médico veterinario debe fundamentar el control biomédico del entrenamiento deportivo, en gran parte, en el conocimiento y la aplicación de los mecanismos fisiológicos y bioquímicos que ocurren durante la actividad física, para dar recomendaciones al preparador que le permitan mejorar la condición orgánica y motora del atleta. Por su parte, el preparador necesita también dicho conocimiento, además del manejo de los principios generales del entrenamiento, con el fin de desarrollar las cualidades físicas en la mayor medida posible para cada animal y circunstancia. Las personas relacionadas con el medio caballar deben tener presente que mantener un nivel de entrenamiento alto en cada modalidad exige un manejo especial de cada caballo, pues la adaptación a los diferentes esfuerzos requiere el diseño de un protocolo de trabajo específico para cada animal, una alimentación balanceada y otros cuidados especiales para lograr finalmente los resultados esperados por el ejercicio, sin afectar el estado de salud del caballo atleta.

Summary

The horse athlete's metabolic aspects

The men have chosen the horse like a work and an athletic animal; that's why the racing, the endurance riding, the jumping and the gait exhibitions are more popular in our country nowadays. The horse training in diverse sports events demand an excellent knowledge of the physiological responses and adaptations to an exercise; this elicit to adopt certain strategies in the management of the horses to enhance these adaptations and to reach a good performance of the high endurance equines. If we compare the different events, it is clear that there are great differences in the energetic demands and the biochemical functions during the exercise, however, in all of these activities, the energy supply is obtained from hepatic and muscular glycogen and the fatty stores (5). During the exercise, there is a simultaneous aerobic and anaerobic supply of energy, although the aerobic system predominates in resistance activities, while the anaerobic systems predominates in power activities; but there should be clear that the aerobic oxidative system is activated in all the competitions (3). These have important implications for the design of the training because it should be specific order to develop the velocity, the force or both.

Key words: *adaptation, exercise, metabolism, muscular fibers and training.*

Referencias

1. Charlish A. Un mundo de caballos. Grolier International. España, 1982; 384p.
2. Foreman JH. Metabolic causes of equine exercise intolerance. En: The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice. Exercise Intolerance. 1996;12(3):537-555.
3. García A, Castejón F, De la Cruz LF, González J, Murillo MD y Salido G. Fisiología Veterinaria. Mc Graw Hill-Interamericana de España, 1995;1073p.
4. Ganong WF. Energy balance, metabolism and nutrition. En: Review Medical Physiology. 18ª ed, Appleton and Lange. USA, 1997:261-296.
5. Hodgson D, Rose R. The Athletic Horse. Principles and Practice of Equine Sports Medicine. WB Saunders Company, 1994;145-178.
6. Davie AJ et al. Effects of muscle glycogen depletion on some metabolic and physiological responses to submaximal treadmill exercise. Can. J. Vet. Res. 1999;63(4):241-247.
7. Lewis L. Feeding and care of horses for athletic performance. In: Equine Clinical Nutrition, Feeding and Care. Williams and Wilkins, 1995;239-280.
8. López J, Fernández A. Metabolismo y utilización de los sustratos durante el ejercicio. En: Fisiología del ejercicio. 2ª ed; España, Panamericana, 1998: 11-46.
9. Mills PC, Marlin DJ, Scott CM, Smith NC. Metabolic effects of nitric oxide synthase inhibition during exercise in the horse. Res. Vet. Sci. 1999;66(2): 135-138.
10. Muñoz A, Santisteban R, Rubio MD, Aguera EI, Escribano BM, Castejón FM. Locomotor, cardiocirculatory and metabolic adaptations to training in Andalusian and Anglo-Arabian horses. Res. Vet. Sci. 1999;66(1):25-31.
11. Pinkowski W et al. Selected blood parameters during recovery from strenuous running exertion in trotters. Zentralbl Veterinarmed A. 1998;45 (5):279-286.
12. Poortmans J. Carbohydrate metabolism. En: Principles of Exercise Biochemistry. 2ªed; Toronto, Canada;1993:89-136.
13. Potard U, Leith D, Fedde R. Force, speed and oxygen consumption in Thoroughbred and draft horses. J. Appl. Physiol. 1998;84(6):2052-2059.
14. Roneus N, Essen G, Lindholm A, Persson S. Muscle characteristics and plasma lactate and ammonia response after racing in Standardbred trotters: relation to performance. Equine. Vet. J. 1999;31(2):170-173.
15. Shuback K et al. Muscle anaerobic response to a maximal treadmill exercise test in Standardbred trotters. Equine. Vet. J. 1998;30(6):504-510.
16. Valberg SJ. Muscular causes of Equine Exercise Intolerance. In: The Veterinary Clinics of North America. Equine Practice. Exercise Intolerance. 1996;12(3):537-555.
17. Wilson JD and Foster DW. William's Textbook of Endocrinology. 8ª ed. WB Saunders Company; 1998.
18. White SL et al. Heart rate response and plasma lactate concentrations of horses competing in the speed and endurance phase of 3-day combined training events. Equine. Vet. J. Suppl. 1995;20:52-56.
19. White SL et al. Heart rate response and plasma lactate concentrations of horses competing in the cross-country phase of combined training events. Equine. Vet. J. Suppl. 1995;20:47-51.
20. Wrenn E. Analytic calculation of Physiological acid-base parameters in plasma. J. Appl. Physiol. 1999;86(1):326-334.