



Archivos de Medicina Veterinaria

ISSN: 0301-732X

archmv@uach.cl

Universidad Austral de Chile

Chile

SUCRE, L.; FINOL, H.; PÉREZ, R.

Cambios ultraestructurales del músculo Gluteus medius en caballos mestizos de tiro no entrenados y sometidos a trabajo de labranza

Archivos de Medicina Veterinaria, vol. 32, núm. 1, 2000

Universidad Austral de Chile

Valdivia, Chile

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=173013741003>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica





Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto



Archivos de medicina veterinaria

ISSN 0301-732X *versión impresa*

-  Como citar este artículo
-  Agregar a favoritos
-  Enviar a e-mail
-  Imprimir HTML

Arch. med. vet. v.32 n.1 Valdivia 2000

Cambios ultraestructurales del músculo *Gluteus medius* en caballos mestizos de tiro no entrenados y sometidos a trabajo de labranza

Ultrastructural changes of the *Gluteus medius* muscle of untrained crossbred draught horses subjected to ploughing

L. SUCRE¹ M.V., Dr.Cs.; H. FINOL² Dr.Cs. y R. PÉREZ³ M.V., M.S.

1 Facultad de Ciencias Veterinarias, Universidad Central de Venezuela, Apartado de Correo N 4563, Maracay Edo. Aragua, Venezuela.

2 Centro de Microscopía Electrónica, Facultad de Ciencias, Universidad Central de Venezuela, Apartado de Correo N 47114, Caracas 1041, Venezuela.

3 Departamento de Ciencias Clínicas, Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Concepción, Av. V. Méndez 595. Chillán, Chile.

SUMMARY

The Chilean crossbred draught horse has been bred to perform heavy resistance work in order to have adequate physical fitness for the work they carry out during different agricultural tasks. Despite the significant contribution of these animals to the rural economies of the under developed countries, little is known about their muscular adaptation to draught work. Generally, these animals are subjected to

intensive work after prolonged periods of rest, and, unlike sport horses, there is little concern about their physical fitness and conditioning prior to starting the working season. The aim of this study was to analyze the main ultra-structural changes observed in the *Gluteus medius* muscle of Chilean crossbred draught horses during ploughing at the beginning of the working season after a long period of rest. For this purpose, muscle biopsies of the *Gluteus medius* from 4 Chilean crossbred draught 3 months inactive horses between 10 to 12 years of age were taken by percutaneous puncture before and after 3 h of routine ploughing work. Samples were processed by transmission electron microscopy according to conventional ultra-thin techniques.

The ultra-structural analysis of the muscle biopsies from the animals studied after physical activity showed some significant changes such as: alterations in the contractile system (shortening of myofilaments), changes in the electron density of mitochondria (swollen mitochondria), frequent presence of lysosomal structures (principally granules of lipofuscin), thickening of the basal membranes and partial occlusion of the intramuscular capillaries due to the presence of macrophages, and extension of the basal membrane into the capillary lumen. These results suggest a probable direct relationship between unaccustomed physical exercise in unconditioned draught horses and the ultra-structural changes observed in the skeletal muscle in response to intense physical activity.

Palabras claves: Caballos de tiro, músculo esquelético, ultraestructura, trabajo de labranza.

Key words: Draught horses, skeletal muscle, ultrastructure, ploughing work.

INTRODUCCION

La tracción animal ha sido tradicionalmente un recurso energético importante en la agricultura chilena, particularmente entre los pequeños y medianos agricultores, quienes necesitan fuentes de energía baratas, prácticas, de fácil mantenimiento y operación, cuya capacidad de trabajo y costos sean apropiados al tamaño de sus predios ([Hetz, 1994](#)). De los animales disponibles, el caballo es el que se encuentra mejor adaptado para realizar trabajo de tracción. Dentro de la especie equina, son las razas de tiro las que presentan una constitución anatómica y fisiológica adecuada para realizar una actividad muscular prolongada y a una mayor velocidad que los bovinos. Desde este punto de vista, el caballo está considerado como el animal de tiro más eficiente, con mayor capacidad de tracción y resistencia al trabajo muscular continuo ([Pérez y col., 1993](#)).

A pesar de la importante contribución que estos animales realizan a las economías agrícolas de los países en vías de desarrollo, poco se conoce aún acerca de la adaptación muscular al trabajo de tracción. Generalmente, estos animales son sometidos a trabajos intensivos después de largos períodos de descanso y a diferencia de los caballos de deporte, no existe preocupación acerca de la aptitud física y preparación que ellos debieran tener previo al inicio de la temporada de trabajo.

Esta falta de acondicionamiento físico previo a las actividades rutinarias podría generar cambios en la homeostásis de las fibras musculares esqueléticas que se traducirían en atrofia o en necrosis segmental, dependiendo de la intensidad y duración del trabajo al cual sean sometidas las masas musculares ([Fridén y Lieber, 1992](#)). El presente trabajo propone que el esfuerzo que significa la ejecución de una faena agrícola en caballos sin acondicionamiento físico previo, genera cambios en la homeostasis de la fibra muscular esquelética que se evidencian por modificaciones ultraestructurales que alteran su integridad. Por lo tanto, el estudio de los cambios que pudiera ocurrir en la musculatura esquelética, por efecto del trabajo muscular intenso, permitiría orientar el diagnóstico y aportar antecedentes objetivos para establecer medidas preventivas dirigidas a lograr una mejor utilización de los animales de trabajo.

Por ser el ejercicio físico la causa más frecuente de la disminución del rendimiento de los caballos ([Lindholm, 1987](#)), y muy particularmente en los caballos de trabajo, ya que las masas musculares de estos

animales son expuestas periódicamente a trabajos de larga duración e intensidad ([Rose y Hodgson, 1993](#)), considerando, además, la importancia económica que representa el uso del caballo de tiro, se realizó el presente estudio con el objetivo de analizar los principales cambios ultraestructurales que ocurren como respuesta a un trabajo de labranza rutinaria luego de un período de reposo prolongado.

MATERIAL Y METODOS

Animales. Para la realización del presente estudio, se utilizaron cuatro caballos mestizos de tiro chilenos, (2 machos y 2 hembras), entre 10 y 12 años de edad. Todos los caballos al momento de la biopsia se encontraban al final del período de reposo invernal por al menos 90 días. Durante este período, los caballos fueron alimentados con los mismos componentes de la dieta que habitualmente se les suministra a estos animales, en base a pradera natural y ocasionalmente suplementados con heno de trébol.

Todos los caballos se encontraban en buenas condiciones físicas y clínicamente sanos, la conformación de los mismos era comparable y el peso corporal fluctuó entre 500 a 550 kg. Adicionalmente estos animales presentaban todas las características hipométricas descritas para el caballo de tiro mestizo chileno por [Pérez y col. \(1993\)](#).

Ejercicio de tracción. Cada caballo realizó una faena de labranza que consistió en la tracción de un arado de vertedera de 23 Kg de peso durante un período de 3 horas, con reposos intermitentes de 3 min cada cuarto de hora.

Descripción de la técnica de biopsia muscular sobre el músculo glúteo. Para la toma de las biopsias musculares del M. *Gluteus medius* de los caballos de tiro se siguieron las pautas descritas por [Lindholm y Piehl \(1974\)](#), seleccionándose el M. *Gluteus medius* porque existen experiencias que señalan que la región de la grupa no involucra riesgos para la toma de biopsia, y considerando el rol que tiene la función de este músculo en la propulsión del cuerpo en el espacio durante la locomoción que eventualmente lo involucra directamente en el esfuerzo que se realiza durante la tracción.

De cada caballo se extrajo una muestra de músculo, la que se realizó tanto en reposo, previo al trabajo de aradura, como después de tres horas de labor agrícola. Las biopsias fueron tomadas permaneciendo los caballos en estación sin tranquilización previa.

Se consideraron referencias anatómicas concretas, realizándose las biopsias sobre el área que dista 3 cm dorsal al límite entre los tercios craneal y medio de la línea que une el centro de la espina ilíaca ventral con el punto más culminante de la porción caudal del trocánter mayor del fémur ([López-Rivero y col., 1989](#)). En la zona seleccionada, se rasuró y desinfectó un área de 5-10 cm². A continuación, se inyectaron subcutáneamente 3 ml de clorhidrato de procaína* a lo largo de la línea prevista la que puede afectar a la piel y la fascia de revestimiento externo del músculo, pero no al tejido muscular subyacente, pues ello puede alterar las características de la muestra ([Snow, 1983](#)). Transcurridos entre 3 y 5 minutos de la infiltración anestésica, se procedió a la intervención propiamente dicha. Para ello se incide (aproximadamente 10 mm) la piel, tejido subcutáneo y fascia glútea con un bisturí.

Seguidamente, la aguja de biopsia muscular ([Bergström, 1962](#)), se insertó en el espesor del músculo a una profundidad de 5 cm con dirección ventromedial y con la ventana de la aguja dirigida hacia arriba. Para ello, se retiró parcialmente el cilindro interno cortante, al tiempo que la aguja, se comprimió suavemente contra la masa muscular mediante un movimiento de palanca, para favorecer así la entrada del tejido muscular a través de la ventana. En este momento el cilindro interno cortante se introdujo decididamente produciéndose con este movimiento la sección de muestra muscular. Antes de extraer definitivamente la aguja, esta operación se repitió de 2 a 3 veces, a objeto de obtener una cantidad suficiente de tejido muscular (aproximadamente 50-200 mg). Finalmente, se extrajo la aguja del músculo y la muestra se sacó del interior del cilindro interno con la ayuda del estilete. Al extraer la aguja se comprimió la superficie de

la piel con un algodón embebido en alcohol isopropílico, con el propósito de hacer hemostasis. La operación no requirió sutura cutánea y concluyó con la disposición de sustancias cicatrizantes y antisépticas sobre la herida quirúrgica.

Ultraestructura. Luego de tomada la biopsia muscular, las muestras se procesaron inmediatamente para su observación al microscopio electrónico de transmisión, siguiendo las pautas para la técnica de corte fino descritas en un trabajo previo (Sucre, 1991), de acuerdo a las siguientes etapas: prefijación con glutaraldehído al 3%, lavados con buffer fosfato (pH 7,4), post-fijación con tetróxido de Osmio (OsO₄) al 1% y precoloración con acetato de uranilo al 3%. Se continuó con la deshidratación de las muestras en alcohol a concentraciones crecientes (entre 50 y 100). Posteriormente, se procedió a la infiltración en óxido de propileno y en resina epóxica LX-112. Posteriormente, cortes de 50 mm de espesor fueron teñidos con acetato de uranilo al 1% a 45 C por 30 min y luego con citrato de plomo a 25 C durante 10 min. Se tomaron fotografías de las secciones musculares en un microscopio electrónico de transmisión marca Hitachi modelo H-500 con un voltaje de aceleración de 100 kV.

La diferenciación de los tipos fibrilares se realizó mediante el uso de parámetros tales como: grosor y trazado de la línea Z, presencia de la línea M, disposición de los filamentos finos alrededor de los gruesos a nivel de la banda A, desarrollo del sistema sarcotubular, número de mitocondrias y presencia de gotas lipídicas. Todos estos antecedentes fueron considerados para diferenciar los tres tipos básicos de fibras musculares esqueléticas (I, IIA y IIB) en el músculo glúteo medio del caballo mestizo de tiro chileno.

RESULTADOS

Ultraestructura del *M. Gluteus medius* del caballo de tiro mestizo chileno en reposo. En las fig. 1 y 2, se aprecian secciones longitudinales de fibras tipo IIB. En dichas microfotografías electrónicas, se observa que este tipo de fibra posee una línea Z de trazo rectilíneo y delgada. La línea M se evidencia claramente hacia la mitad del sarcómero, el sistema sarcotubular se destacó por la complejidad y abundancia de sus elementos, localizándose las tríadas a nivel de la unión de las bandas A e I, dispuestas perpendicularmente al eje longitudinal de las fibras (fig. 1). Se observó gran cantidad de partículas b de glucógeno en los espacios intermiofibrilares de este tipo de fibras y un escaso número de mitocondrias (fig 1 y 2).

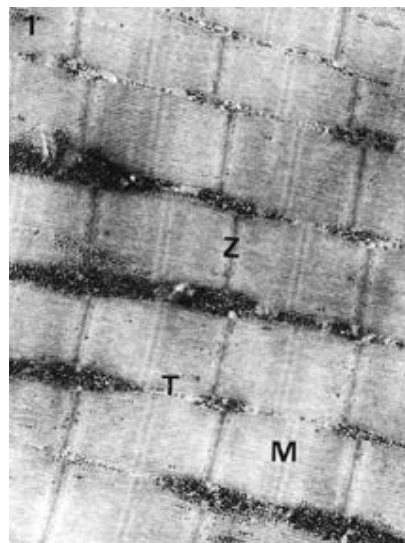


Figura 1. Sección longitudinal de una fibra muscular tipo IIB del *M. Gluteus medius* de un caballo de tiro mestizo

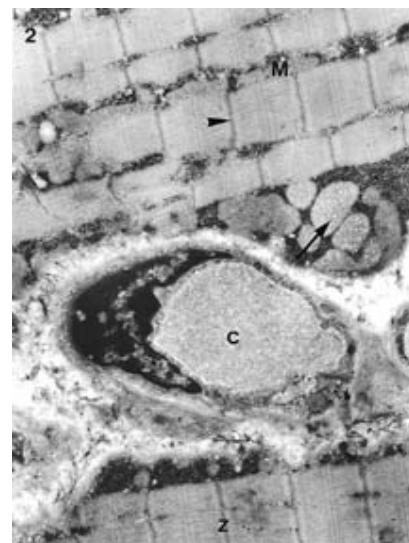


Figura 2 Sección longitudinal de una fibra tipo IIA (parte superior) y tipo IIB (parte inferior). Nótese las

chileno en reposo. Se aprecian en la misma, la línea Z (Z) y la línea M (M) hacia la mitad del sarcómero. El sistema sarcotubular, está representado por las tríadas (T). Nótese la abundancia de partículas b de glucógeno. Aumento: 12.000 X.

Electron microphotography from a longitudinal section of a type IIB fibre (top) from the G. medius muscle of a Chilean crossbred draught horse in rest. A thin Z-line and a M-line are shown. The sarcotubular system is represented by the triads (T). A great number of beta glycogen particles are observed.

diferencias de grosor de la línea Z (Z), siendo más gruesa y de trazo irregular la correspondiente a la fibra tipo IIA (cabeza de flecha), si se compara con la de la fibra tipo IIB (Z). En los espacios intermiofibrilares y subsarcolémicos de las fibras tipo IIA, se aprecian gran número de mitocondrias (M), siendo frecuente la forma tubular de las crestas (flecha). Con C, se exhibe un capilar intramuscular. Aumento: 6.000 X.

Electron microphotography from a longitudinal section type IIA (top) and type IIB (bottom) fibres of the G. medius muscle of Chilean crossbred draught horse in rest. Differences in thickness of Z-line are observed between both type of fibbers. Type IIA fibbers show a thick and irregular Z-line in comparison to type IIB. A greater number of mitochondria (M) with tubular form of christae (arrow) are shown between intermyofibrillar and subsarcolemic space of type IIA fibbers. An intramuscular capillary (C) is also observed.

Por su parte las fibras tipo IIA, presentaron una línea Z gruesa y de trazo algo irregular (fig. 2, 3 y 4). También se observó un gran número de gotas lipídicas y mitocondrias, tanto en los espacios intramiofibrilares (fig. 2, 3 y 4), como a nivel subsarcolémico, sobre todo en aquellas zonas próximas a los capilares (fig. 2). Aún cuando estos organelos fueron electrón denso, pudieron distinguirse por sus crestas lamelares y tubulares tal como se muestra en la fig. 2. Además, se evidenciaron organelos relacionados a las lisosomas como vacuolas autofágicas, glucogenosomas y gránulos de lipofucsina (fig. 4). Los capilares intramusculares exhibieron una pared endotelial con numerosas vesículas pinocíticas (fig. 2).

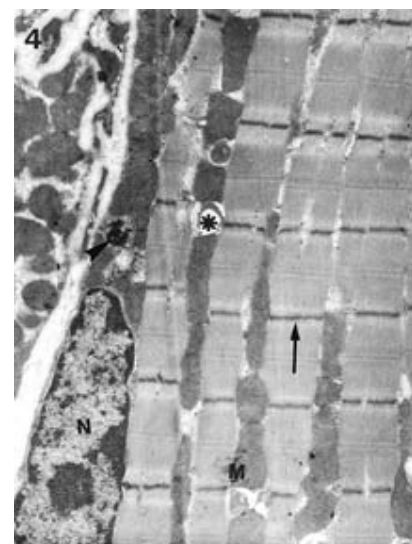
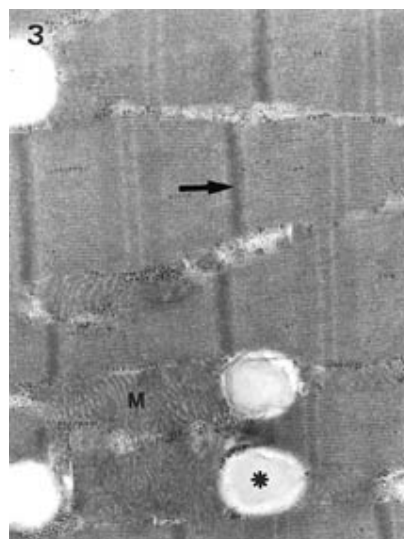


Figura 3. Sección longitudinal de una fibra tipo IIA, en los espacios intramiofibrilares se evidencian gran número de mitocondrias (M) y gotas de lípidos (asterisco). Nótese el grosor y trazado de la línea Z (flecha). Aumento: 21.000 X.

Electron microphotography from a longitudinal section of type IIA fibre where the intramyofibrillar space shows a great number of mitochondria (M) and lipid drops (*). See the thickness of Z-line (arrow).

Figura 4. Sección longitudinal de fibra tipo IIA. Nótese en los espacios intermiofibrilares y subsarcolémicos un gran número de mitocondrias (M) y gotas lipídicas (asterisco). A nivel subsarcolémico se observa un mionúcleo (N) de aspecto normal, y un gránulo de lipofucsina (cabeza de flecha). Con flecha, se señala la línea Z. Aumento: 8.000 X.

Electron microphotography from a longitudinal section of type IIA fibres where the intermyofibrillar and subsarcolemic spaces show a great number of mitochondria (M) and lipid drops (*). At subsarcolemic level a normal myonucleous (N) and a lipofuscin granule (arrowhead) are observed. The Z-line is shown by arrow.

Ultraestructura del M. gluteus medius del caballo de tiro mestizo chileno posterior al trabajo de labranza. Se evidenciaron cambios ultraestructurales en el sistema contráctil de las fibras musculares afectadas, los que consistieron en pérdida de miofilamentos, aunque con la conservación de la estriación (fig. 5, 6, 7 y 8); junto con estas alteraciones, algunas miofibrillas presentaron un trazo irregular (fig. 7) y cierto grado de engrosamiento (fig. 7 y 8) de la línea Z.

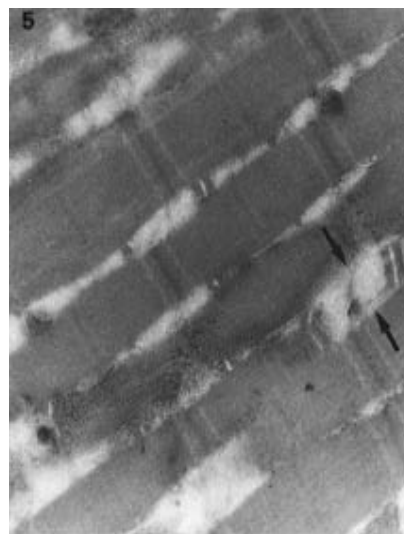


Figura 5. Sección longitudinal del *M. Gluteus medius* de un caballo de tiro mestizo chileno no entrenado, posterior al trabajo de labranza. Se hace evidente un incremento de los espacios intermiofibrilares (flechas). Aumento: 12.000 X.

Electron microphotography from a longitudinal section of the *G. medius* muscle of a nontrained Chilean crossbred draught horse after ploughing work. A widening of the intermyofibrillar space is observed (arrow).

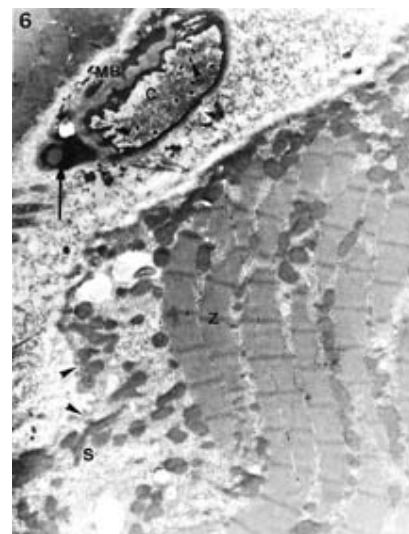


Figura 6. Sección longitudinal de una fibra tipo IIA, con pérdida de material contráctil a nivel subsarcolémico (S). Así mismo, se observan diferentes grados de plegamientos por parte del sarcolema (cabezas de flecha). También se aprecia un engrosamiento de la línea Z (Z). A nivel del capilar intramuscular (C), se observa la presencia de prolongaciones del endotelio hacia la luz del capilar (cabezas de flechas), así como la presencia de una membrana basal engrosada (MB) y de un gránulo de lipofucsina (flecha) en la célula endotelial. Aumento: 4.800 X.

Ultrastructure of a longitudinal section from type IIA muscle fiber with loosening of

contractile material at subsarcolemic level (S). Different levels of pliancy of sarcolemma (arrowhead) and widening of Z- band are observed. In the intramuscular capillary (C) the presence of prolongations of the endothelium towards the capillary lumen (arrowhead) and the swelling of basal membrane (MB) and a lipofuscin granule (arrow) inside of endothelial cell can be seen.

Frecuente fue la presencia de estructuras lisosomales, siendo las más comunes las vacuolas autofágicas formadas a partir de restos mitocondriales, lisosomas primarias, figuras mielínicas y gránulos de lipofucsina (fig. 5 y 9). Las mitocondrias presentaron cambios en la densidad electrónica (mitocondrias hinchadas) con presencia en ciertos casos de gránulos en su interior (fig. 7). Los mionúcleos no mostraron alteraciones en su morfología, disponiéndose en las fibras musculares a nivel subsarcolémico.

En cuanto a las alteraciones ultraestructurales de los capilares intramusculares cabe destacar la reduplicación y engrosamiento de la membrana basal, presencia de prolongaciones hacia la luz del capilar y la oclusión parcial de ésta (fig. 6, 10 y 11). Paralelamente a estos cambios el sarcolemma experimentó diferentes grados de plegamiento (fig. 6, 7 y 8). El infiltrado localizado con mayor abundancia en áreas próximas a los capilares estaba constituido por macrófagos (fig. 7 y 8) y linfocitos (fig. 11).



Figura 7. Micrografía electrónica, donde se hacen evidentes ciertos plegamientos del sarcolemma (flechas), así como el engrosamiento de la línea Z (Z). Con M, se exhibe un macrófago, y con cabezas de flecha, gránulos intramitocondriales. Aumento: 14.400 X.

Electron microphotography showing some folding of the sarcolemma (arrow) and Z-line swelling. M indicates a macrophage and the arrowhead shows intramitochondrial granules.

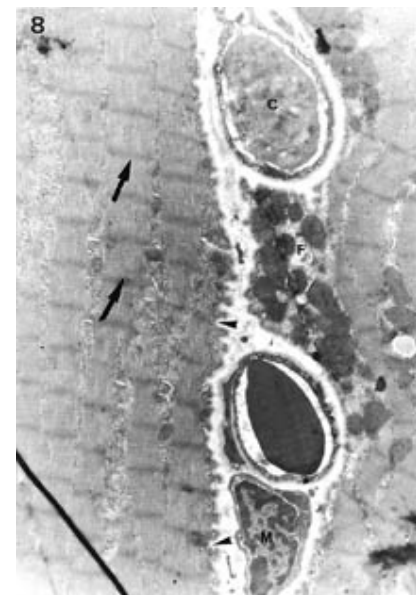


Figura 8. Sección longitudinal donde se observa un macrófago (M) próximo a un capilar. Son evidentes los pliegues que presenta el sarcolemma (cabezas de flecha), así como el engrosamiento de las líneas Z (flechas). También se puede observar una figura mielínica (F). Aumento: 6.000 X.

Ultrastructure of a longitudinal section of muscle fiber where a macrophage (M) close to a capillary is shown. The folding of sarcolemma (arrowhead) and the Z- line swelling (arrow) are also observed. A myelinic structure is shown by F.

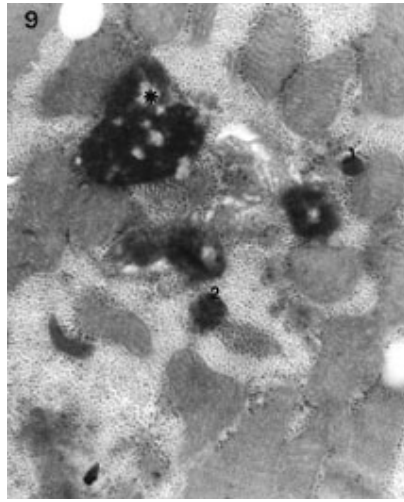


Figura 9. Micrografía electrónica en la que se observan gránulos de lipofuscina (asterisco), con un lisosoma primario (1) y un lisosoma secundario (2). Aumento: 27.000 X.

Electron microphotography in which the lipofuscin granules (asterisk) and primary (1) or secondary (2) lisosomes are observed.

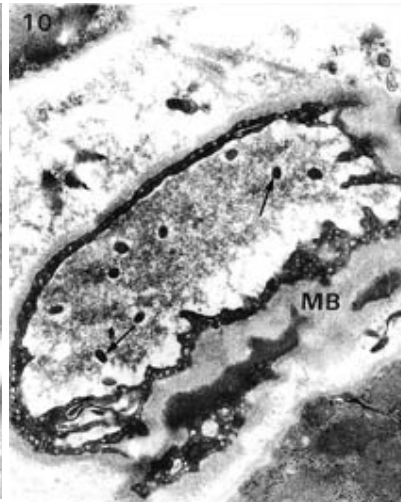


Figura 10. Micrografía electrónica en la cual el capilar exhibe una membrana basal (MB) reduplicada y engrosada, así como prolongaciones hacia el lumen (flechas). Aumento: 12.000 X.

Electron microphotography in which the basal capillary membrane (MB) is reduplicated and swelling with prolongations to the lumen (arrow) are observed.

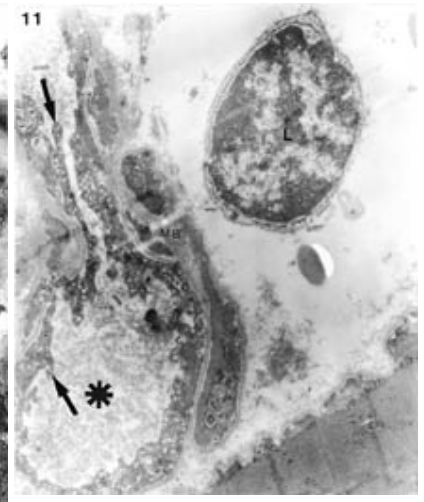


Figura 11. Micrografía electrónica donde se observa un capilar intramuscular (asterisco) con oclusión parcial de la luz. La membrana basal (MB) se encuentra reduplicada. Nótese la prolongación del endotelio hacia la luz del capilar (flechas), así como la presencia de un linfocito (L). Aumento: 9.600 X.

Electron microphotography of a partially occluded intramuscular capillary (asterisk) The basal membrane is reduplicated. The prolongation of endothelium (arrow) to the lumen and the presence of a lymphocyte (L) inside of the capillary is observed.

DISCUSION

El objetivo de la presente investigación fue analizar desde el punto de vista ultraestructural, la respuesta del *M. Gluteus medius* del caballo mestizo de tiro chileno frente a un ejercicio físico rutinario de tracción, como es la ejecución de una faena de labranza, el que se realizó posterior a un período de inactividad. El análisis ultraestructural reveló que la respuesta al ejercicio físico luego de un período de reposo, se enmarca dentro de los esquemas generales de la reacción del tejido muscular ante la intensidad del efecto de otros agentes etiológicos productores de daño muscular. En este sentido, se observaron cambios subletales en las fibras musculares esqueléticas del caballo de tiro en este tipo de ejercicio.

Las alteraciones en el sistema contráctil, con pérdida de miofilamentos hasta la atrofia y trazado zigzagante de la línea Z, se corresponden con los cambios descritos en la fase subclínica ([Fridén y col., 1988](#)) y clínica ([Sucre, 1991](#)) de la rabdomiólisis por ejercicio.

Además, la disminución del tamaño de las fibras musculares, se ha relacionado con el desentrenamiento ([López-Rivero y col., 1993](#)) y el envejecimiento ([Carmeli y Reznick, 1994](#)). Con relación a esto [Fridén y Lieber \(1992\)](#), han sugerido que la sarcómera muscular tiene un determinado umbral al daño físico, el cual disminuye por efecto de la atrofia que se produce a consecuencia del reposo prolongado. Si se considera que el grupo de equinos del presente estudio, estuvo constituido por animales de 10-12 años de edad e

inactivos por un período de a lo menos 90 días, es posible pensar que existe alguna relación con las lesiones sarcoméricas observadas.

De los cambios a nivel mitocondrial, la presencia de gránulos intramitocondriales concuerda con descripciones similares en miopatías inducidas por el ejercicio físico en caballos Standardbred ([Lindholm y col., 1974](#)) y caballo fina sangre inglés ([Sucre, 1991](#); [Hogdson, 1993](#)). También se ha descrito en las miopatías inducidas por la isquemia en el músculo esquelético ([Heffner y Barron, 1978](#)) y en la deficiencia de vitamina E y Selenio ([Fujimoto y col., 1986](#)).

La presencia de los gránulos intramitocondriales, ha sido asociada a disfunciones en los canales de calcio ([Duan y col., 1989](#)). El resultado neto de este evento es un progresivo incremento de la concentración de calcio dentro del mioplasma, así como dentro de las mitocondrias. Mediante la introducción de calcio a su interior, la mitocondria trata de mantener la homeostasis intracelular ([Hodgson, 1993](#)). Una de las repercusiones de la alteración de la homeostasis del calcio a nivel intramioelular, es la activación de proteasas calcio dependientes (m-calpina y m-calpina) que podrían dañar los organelos intramioelulares y provocar también la degradación de los miofilamentos ([Soza y col., 1986](#)).

La presencia de gránulos de lipofucsina en las muestras de biopsias musculares, tomadas antes y después de un ejercicio de tracción, concuerda con lo señalado por otros autores que han aseverado que la acumulación de tales gránulos en las fibras musculares esqueléticas, están en íntima relación con la edad (pigmentos de la edad) ([Ying, 1996](#)). También se ha señalado que la presencia de estos gránulos es el producto de un esfuerzo físico intenso ([Dolman y Macleod, 1981](#); [Sucre, 1991](#)) y de daño celular ([Dalefield y col., 1994](#)).

Los gránulos de lipofucsina, están compuestos de detritus celulares que son resistentes al catabolismo celular ([Ying, 1996](#)) y por lo tanto se acumulan inevitablemente como productos de desecho del metabolismo celular normal ([Finol y col., 1986](#)). Asimismo, se ha indicado que dichos gránulos constituyen la acumulación de productos de la lipoperoxidación de las membranas lipídicas inducida por radicales libres ([Ying, 1996](#)). Por ejemplo, se ha señalado que el ejercicio físico podría promover la formación de radicales libres, favorecer la lipoperoxidación de las membranas y el daño muscular ([Brown y col., 1997](#)).

Las alteraciones en el sarcolema (diferentes grados de plegamiento) coinciden con las descripciones de tales alteraciones en la membrana plasmática de las fibras musculares en la rabdomiólisis por ejercicio en los humanos ([O'Reilly y col., 1987](#)) y en los caballos fina sangre de carrera inglés ([Sucre, 1991](#)).

Dentro de las anomalías observadas en los capilares, como la reduplicación y el engrosamiento de la membrana basal, la presencia de prolongaciones hacia la luz del capilar, así como la oclusión parcial de ésta, constituyen alteraciones inespecíficas que se han observado en desórdenes tales como la rabdomiólisis por ejercicio ([Sucre, 1991](#)), la miopatía asociada con la deficiencia de fósforo ([Medina-López y col., 1994](#)), la polimiositis ([Jerusalem y col., 1974](#)) y en la miopatía aguda con lisis selectiva de los filamentos de miosina ([Shah y col., 1982](#)).

El tipo de infiltrado evidenciado en las muestras de músculo esquelético tomadas después de la realización de la actividad física, consistió fundamentalmente de macrófagos y linfocitos. Tales hallazgos coinciden con otros similares descritos en las miopatías metabólicas por deficiencia de vitamina E y Selenio ([Fujimoto y col., 1986](#)), en la rabdomiólisis por ejercicio en el hombre ([Warhol y col., 1985](#)) y en los equinos ([Lindholm y col., 1974](#); [Sucre, 1991](#)).

Los hallazgos indican que las alteraciones que se producen en el músculo esquelético después de la realización de una actividad física tras un período de inactividad, se compone de cambios ultraestructurales que son similares a los observados en caballos de carreras en respuesta al ejercicio de

alta intensidad ([McCutcheon y col, 1992](#)). A pesar de que las alteraciones evidenciadas en la presente investigación, tanto en el músculo esquelético como en los capilares, son inespecíficas (ya que las mismas son comunes a varias enfermedades musculares de diferente etiología), éstas podrían entregar cierta información acerca de los procesos que eventualmente ocurren en el músculo esquelético por efecto de la ejecución de un ejercicio físico desacostumbrado e intenso, para el cual el animal no está adecuadamente preparado.

Se estima que las condiciones de trabajo en que los caballos realizaron la labor de labranza, son similares a las descritas en un estudio previo por [Pérez y col. \(1996\)](#), en las cuales los animales desarrollaron una fuerza de tracción de 905 N (Newton), a una velocidad promedio de 0,93 m/s. Los resultados de las mediciones de variables fisiológicas y bioquímicas sanguíneas de los animales considerados en dicho estudio, demuestran que a pesar de que esos animales fueron sometidos a trabajo muscular de tipo submaximal, se observaron aumentos significativos en los valores de actividad de las enzimas CK y AST, las que pudieran estar relacionadas con posibles alteraciones en la estructura de la célula muscular. De estos antecedentes se puede pensar que los incrementos en las concentraciones séricas de las enzimas señaladas, podrían reflejar las alteraciones en las fibras musculares esqueléticas, como ha sido observado en los animales del presente estudio.

Se puede concluir que en los caballos mestizos de tiro chilenos, inactivos por períodos prolongados, la ejecución de un ejercicio físico de labranza agrícola produce alteraciones ultraestructurales del músculo esquelético que son similares a las observadas en animales inactivos sometidos a ejercicio, o que no han sido acondicionados adecuadamente para la labor que deben desarrollar. Los resultados sugieren la posibilidad de que existe una relación directa entre el ejercicio físico no habitual y las alteraciones en la estructura del músculo esquelético en respuesta a dicha actividad. Estos resultados demuestran la necesidad de considerar un acondicionamiento físico de estos animales previo al inicio de la temporada de trabajo agrícola, como norma de manejo, con el fin de lograr un uso más racional de estos animales y así posiblemente prolongar su vida útil.

RESUMEN

El caballo mestizo de tiro chileno es un animal que se ha seleccionado para realizar trabajo de fuerza y resistencia con el fin de que presente una aptitud física adecuada a las funciones que debe desarrollar durante las diferentes labores agrícolas. A pesar de la importante contribución que estos animales realizan a las economías agrícolas de los países en vías de desarrollo, poco se conoce aún acerca de la adaptación muscular al trabajo de tracción. Generalmente, estos animales son sometidos a trabajos intensivos después de largos períodos de descanso y a diferencia de los caballos de deporte, no existe preocupación acerca de la aptitud física y preparación que ellos debieran tener previo al inicio de la temporada de trabajo. El objetivo del estudio fue analizar los principales cambios ultraestructurales que se observan en el músculo *G. medius* de los caballos mestizos de tiro chileno durante el trabajo de labranza al inicio de la temporada de trabajo agrícola después de un largo período de reposo. Para tal fin, se tomaron biopsias por punción percutánea al M. *Gluteus medius*, de 4 caballos mestizos de tiro chilenos, entre 10 y 12 años de edad, e inactivos por un período de 3 meses. Las muestras de músculo esquelético, se tomaron antes y después de una faena de labranza con arado se procesaron para microscopía electrónica de transmisión, según técnicas convencionales de corte fino. El análisis ultraestructural de los especímenes de músculo esquelético de los animales estudiados después de la actividad física, mostró cambios subletales como: alteraciones en el sistema contráctil (disminución de los miofilamentos), cambios en la densidad electrónica de las mitocondrias (mitocondrias hinchadas), presencia frecuente de estructuras lisosomales (principalmente gránulos de lipofuscina), engrosamiento de la membrana basal de los capilares y oclusión parcial de los mismos por la presencia de macrófagos y de prolongaciones hacia la luz del capilar. Los resultados sugieren una relación directa entre el ejercicio físico desacostumbrado y las alteraciones en la estructura del músculo esquelético en respuesta a dicha actividad.

Aceptado: 07.03.2000.

* (Lidocaína[®], solución al 2%, Lab. Chile).

BIBLIOGRAFIA

BERGSTRÖM, J. 1962. Muscle electrolytes in man: determined by neutron activation analysis on needle biopsy specimens: a study in normal subjects kidney patients and patients with chronic diarrhoea. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 14 Suppl. 68: 1-110.

BROWN, S.J., R. B. CHILD, S. H. DAY, A. E. DONNELLY. 1997. Indices of skeletal muscle damage and connective tissue breakdown following eccentric muscle contractions. *Eur. J. Appl. Physiol.* 75: 369-374.

CARPELLI, E., A.Z., REZNICK. 1994. The physiology and biochemistry of skeletal muscle atrophy as a function of age. *P. S. E. B. M.* 206: 103-113.

DALEFIELD, R.R., D. N. PALMER, R.D., JOLLY. 1994. Lipofuscin and abnormalities in colloid in the equine thyroid gland in relation to age. *J. Comp. Path.* 111: 389-399.

DOLMAN, C.L., P.M. MACLEOD. 1981. Lipofuscin and its relation to aging. En: *Advances in Cellular Neurobiology*. S. FEDEROFF, L. HERTZ. Vol 2. Academic Press New York. pp. 205-247.

DUAN, C., M.D., DELP, D.A. HAYES, P.D. DELP, R.P. ARMSTRONG. 1989. Skeletal muscle Ca⁺⁺ overload and injury from eccentric exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.* 21: S80.

FINOL, H.J., B. MÜLLER, S.H. TORRES, J. DOMÍNGUEZ, P. PERDOMO, I. MONTES DE OCA. 1986. Ultrastructural abnormalities in muscular vessels of hyperthyroid patients. *Acta Neuropathol.* 71: 64-69.

FRIDÉN, J., M. SJÖSTRÖM, B. EKBLOM. 1988. Skeletal muscle fibre injuries after high-tension anaerobic exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57: 360-368.

FRIDÉN, J., R.L., LIEBER. 1992. Structural and mechanical basis of exercise-induced muscle injury. *Med. Sci. Sports Exerc.* 24: 521-530.

FUJIMOTO, Y., H. MADARAME, H. YOSHIDA, R. MORIGUCHI. 1986. Light and electron microscopic studies on muscular degeneration in foals. *Bull Equine Res. Inst.* 23: 14-27.

HEFFNER, R.R., S.A. BARRON. 1978. The early effects of ischemia upon skeletal muscle mitochondria. *J. Neurol. Sci.* 38: 295-315.

HETZ, E. 1994. Mecanización apropiada para el pequeño agricultor. En: *Curso de actualización "Energía animal en la agricultura"*. Universidad de Concepción, Facultad de Medicina Veterinaria. Chillán, Chile.

HODGSON, D.R. 1993. Exercise-associated myopathy: is calcium the culprit. *Equine Vet. J.* 25: 1-3.

JERUSALEM, F., M. RAKUSA, A.G. ENGEL, R.D. MCDONALD. 1974. Morphometric study of muscle microvasculature. *Brain.* 97: 115-122.

LINDHOLM, A., K. PIEHL. 1974. Fibre composition, enzyme activity and concentration of metabolites

and electrolytes in muscles of Standardbred horses. *Acta Vet. Scand.* 15: 287-309.

LINDHOLM, A., H. JÖHANNSSÖN, P. KJAERGAARD. 1974. Acute rhabdomyolysis ("Tying-up") in Standardbred horses. A morphological and biochemical study. *Acta Vet. Scand.* 15: 325-339.

LINDHOLM, A. 1987. Pathophysiology of exercise induced diseases of the musculoskeletal system of the equine athlete. En: Equine Exercise Physiology II. J. R. GILLESPIE and N.E. ROBINSON (eds.). ICEEP. Publications, Davis California, pp: 711-727.

LÓPEZ-RIVERO, J.L., J.G. MONTERDE, F. MIRÓ, A. DIZ, A. MARTÍNEZ-GALISTEO. 1989. Biopsia muscular con aguja percutánea en el caballo: descripción y aplicaciones. *One 2 Epoca.* 81: 26-28.

LÓPEZ-RIVERO, L.J., M.C. RUZ, A.L. SERRANO, A.M. GALISTEO. 1993. Efecto del entrenamiento y desentrenamiento sobre el tamaño de los tipos de fibras musculares en diferentes razas de caballos. *Arch. Med. Vet.* 25: 127-136.

McCUTCHEON, L.J., S.K. BYRD, D.R. HODGSON. 1992. Ultrastructural changes in skeletal muscle after fatiguing exercise. *J. Appl. Physiol.* 72: 1111-1117.

MEDINA-LÓPEZ, N., H.J. FINOL, C. MARÍN. 1994. Patología ultraestructural del músculo esquelético en el síndrome paraléjico bovino. *Acta Cient. Venez.* 45: 120-126.

O'REILLY, K.P., M.J. WARHOL, R.A. FIELDING, W. R. FRONTERA, C. N. MEREDITH, W.J. EVANS. 1987. Eccentric exercise-induced muscle damage impairs muscle glycogen repletion. *J. Appl. Physiol.* 63: 252-256.

PÉREZ, R., R. SOTO, I. CABEZAS, M. GARCÍA, A. ISLAS, A. BERRÍOS, C. CHAVARRÍA. 1993. Descripción de las características hipométricas del caballo mestizo de tiro chileno. *Agro-Ciencia.* 9: 31-42.

PÉREZ, R., S. VALENZUELA, V. MERINO, I. CABEZAS, M. GARCÍA, R. BOU, P. ORTÍZ. 1996. Energetic requirements and physiological adaptation of draught horses to ploughing work. *Animal Sci.* 63: 343-351.

ROSE, R.J., D.R. HODGSON. 1993. Manual of equine practice. WB SANDERS (ed.). Company, Harcourt Brace Jovanovich. Inc. Philadelphia, Pennsylvania, U.S.A., pp: 130-132.

SHAH, A.J., V. SAHGAL, G. MUSCHLER, V. SUBRAMANI, H. SING. 1982. Morphogenesis of the mitochondrial alterations in muscle diseases. *J. Neurol. Sci.* 55: 25-37.

SNOW, D.H. 1983. Skeletal muscle adaptations: A review. En: D.H. SNOW, S.G.B. PERSSON, R.J. ROSE, Eds. Equine Exercise Physiology. Granta Editions, Cambridge, England. pp: 160-181.

SOZA, M., G. KARPATI, S. CARPENTER, S. PRESCOTT. 1986. Calcium-induced damage of skeletal muscle fibres is markedly reduced by calcium channel blockers. *Acta Neuropathol.* 71: 70-75.

SUCRE, L. 1991. Rabdomiólisis en el equino: Análisis ultraestructural, histoquímico, bioquímico y hematológico. Tesis, Doctoral. Universidad Central de Venezuela, Facultad de Medicina. Caracas, Venezuela.

WARHOL, M.J., A.J. SIEGEL, W.J. EVANS, L.M. SILVERMAN. 1985. Skeletal muscle injury and repair in marathon runners after competition. *Am. J. Pathol.* 118: 331-339.

YING, D. 1996. Biochemical basis of lipofuscin, ceroid and age pigment-like fluorophores. *Free Radical Biol. Med.* 21: 871-888.
