

**EFEECTO DEL ENTRENAMIENTO Y LA EDAD SOBRE EL METABOLISMO  
DEL MÚSCULO ESQUELÉTICO DE EQUINOS DE SILLA FRANCÉS**

**EFFECT OF TRAINING AND AGE ON SKELETAL MUSCLE METABOLISM  
FROM SELLE FRANÇAIS EQUINES**

V. MERINO, B.Q.\*, Ms. Cs; A. ISLAS\*, MV., Ms. Cs; G. MORA\*, MV., Ms. Cs; M. QUEZADA\*, MV.,  
DR. E. MED.VET.; H. ROJAS\*, MV.; C. CANDIA\*, MV.; M. FERNÁNDEZ\*, MV.; D. ROJAS\*, T.M.

ABSTRACT

*In order to know the muscular metabolism of the Selle Français equines the enzymes activities of aerobic and anaerobic ways were studied in biopsies taken at two depths from the Gluteus medius muscle of males and females in training and without training of different ages.*

*The results show that the enzymes activities of CS and HAD increase with the tissue depth, with training and with the age of the animals ( $p < 0.05$ ). LDH activity decreases with the depth and training ( $p < 0.05$ ) but it not change in equines of different age.*

**KEY WORDS:** *Horses, muscle, enzymes.*

**PALABRAS CLAVE:** *Equino, músculo, enzimas.*

INTRODUCCIÓN

El músculo esquelético de los mamíferos está compuesto de células denominadas fibras, que se clasifican en diferentes tipos de acuerdo a sus propiedades metabólicas, fisiológicas y contráctiles (Valberg y col., 1989).

En equinos existe una correlación directa entre la capacidad física del animal y los tipos de fibras; además, la raza del animal y la función que cumple el músculo en el organismo son factores determinantes de la composición miofibrilar (López-Rivero, 1993). El ejercicio modifica la composición fibrilar e incrementa la actividad de las vías metabólicas aeróbicas del músculo (Essén-Gustavsson y Lindholm, 1985; Valberg y col., 1989). El estudio de ciertas etapas del metabolismo se puede realizar a

través del análisis de las actividades de enzimas que regulan estas reacciones. Como indicadores de la capacidad metabólica y de la adaptación del músculo a diferentes ejercicios se puedan determinar las actividades enzimáticas de citrato sintetasa (CS), enzima del ciclo de Krebs, de 3-OH-acilCoA-deshidrogenasa (HAD) enzima que regula la beta oxidación de los ácidos grasos y de lactato deshidrogenasa (LDH) que participa en la última etapa de la degradación anaeróbica de la glucosa. El entrenamiento favorece el desarrollo de los músculos y aumenta la capacidad oxidativa de las fibras por un incremento de las actividades enzimáticas aeróbicas (López-Rivero y col., 1993, 1995; Islas y col., 1997; Merino y col., 1998). Se ha determinado que la respuesta al entrenamiento es más rápida en animales menores de 4 años por la inmadurez y plasticidad de sus músculos (Ronés y col., 1993).

La mayoría de los estudios realizados para conocer las características del músculo esquelético de los equinos de deporte se han realizado en el mús-

\* Facultad de Medicina Veterinaria, Universidad de Concepción. Casilla 537. Chillán, Chile.  
Financiamiento: Proyecto FONDECYT 10101 631.

culo *Gluteus medius*, debido a su considerable volumen, fácil acceso para la toma de muestras, ausencia de estructuras vulnerables y principalmente por su actividad propulsora en el trote y el galope (Lindholm y Piehl, 1974; López-Rivero, 1995).

El objetivo de este trabajo fue determinar el efecto del entrenamiento y de la edad sobre el metabolismo del músculo *Gluteus medius* de equinos de raza Silla francés, seleccionados para participar en competencias ecuestres.

## MATERIAL Y MÉTODOS

**Animales:** Se utilizaron 16 equinos (10 hembras y 6 machos castrados) de raza Silla Francés, de 2 a 4 años de edad, de peso y alzada comparable (500 - 550 kg; 1,50 - 1,70 m), clínicamente sanos, formando dos grupos.

**Grupo 1:** Formado por 10 equinos (6 machos y 4 hembras) que realizaron un entrenamiento en la Escuela de Caballería Blindada de Quillota.

**Grupo 2:** Constituido por 6 equinos (2 machos y 4 hembras) que se dejaron sin entrenamiento, como control para analizar el efecto de la edad en el criadero de Riñihue.

**Entrenamiento:** Los 10 equinos del grupo 1 se sometieron, durante 4 meses, a un programa de entrenamiento diario utilizado en forma rutinaria en la Escuela de Caballería Blindada de Quillota. El plan de trabajo se realizó de lunes a sábado e incluyó trote, galope a velocidad creciente y adiestramiento; el día domingo se destinó a paseo.

**Obtención de las muestras:** Se realizaron dos biopsias en el músculo *Gluteus medius* de cada caba-

llo, una a 4 cm y otra a 6 cm de profundidad del tejido, siguiendo la técnica descrita por Lindholm y Piehl (1974) y Mora y col. (1995). Las muestras fueron guardadas en tubos debidamente rotulados y mantenidas en nitrógeno líquido hasta su procesamiento.

**Análisis enzimático:** Las muestras se liofilizaron y se disectaron para sacar el tejido conectivo y la sangre adherida a los trozos de músculo. Cada muestra de tejido (20 mg) se homogeneizó con un desintegrador de tejidos de ultrasonido (Tissue tearor) en tampón fosfato 0,1M (pH 7,3) a 4°C en una dilución 1:25. Luego se centrifugaron a 7.000 g por una hora a 4°C y en el sobrenadante obtenido se determinaron las actividades de las enzimas CS, HAD y LDH por espectrofotometría. Las actividades CS y HAD se determinaron según el método descrito por Essén-Gustavsson y col. (1980) y LDH se determinó utilizando un kit comercial (Laboratorio Roche).

**Análisis estadístico:** El promedio y la desviación estándar se obtuvieron por métodos convencionales. La comparación de los resultados se realizó utilizando la prueba de t de Student.

## RESULTADOS

Las actividades de las enzimas marcadoras del metabolismo aeróbico citrato sintetasa (CS) y 3-hidroxiacilCoA- deshidrogenasa (HAD) determinadas en animales sin y con entrenamiento se muestran en la Tabla 1. Se observa que la actividad promedio para la enzima CS en las muestras obtenidas a 4 y 6 cm de profundidad aumentó significativamente ( $p < 0,05$ ) después del entrenamiento de los ejemplares. La profundidad del tejido no afectó la actividad de esta

TABLA 1  
ACTIVIDAD DE LAS ENZIMAS CS Y HAD (mmol/min/kg)  
DEL MÚSCULO *Gluteus medius* EN EQUINOS DE SILLA FRANCÉS  
SIN ENTRENAMIENTO Y ENTRENADOS PARA EQUITACIÓN,  
A DOS PROFUNDIDADES DE BIOPSIA (X ± D.E.)

<i>Equinos</i>	<i>Actividad CS 4 cm 6 cm</i>		<i>Actividad HAD 4 cm 6 cm</i>	
Sin entrenamiento (n=6)	3,4 ± 1,2 a	3,9 ± 1,4 a	6,3 ± 3,0 a	9,8 ± 3,4 c
Con entrenamiento (n=10)	10,9 ± 2,9 b	11,0 ± 2,6 b	14,2 ± 7,5 b	23,3 ± 6,1 d

Letras diferentes indican diferencias significativas  $p < 0,05$ .

TABLA 2  
ACTIVIDAD DE LA ENZIMA LDH (mmol/min/kg) DEL MÚSCULO *Gluteus medius*  
EN EQUINOS DE SILLA FRANCÉS SIN ENTRENAMIENTO Y ENTRENADOS  
PARA EQUITACIÓN A DOS PROFUNDIDADES DE BIOPSIA (X ± D.E.)

Equinos	Actividad LDH 4 cm 6 cm	
Sin entrenamiento (n=6)	2435 ± 673	1883 ± 342
Con entrenamiento (n=10)	1793 ± 1009	1353 ± 644

enzima ( $p > 0,05$ ). La actividad de la enzima HAD aumentó significativamente en los animales entrenados tanto a 4 como a 6 cm de profundidad del tejido comparado con los animales sin entrenamiento. Se observa que la profundidad influye en la actividad de esta enzima, siendo significativamente mayor ( $p < 0,05$ ) en la parte más profunda del músculo.

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos para la actividad LDH, enzima marcadora del metabolismo anaeróbico. Se observa que en los animales estudiados la actividad de esta enzima disminuye después del entrenamiento tanto a los 4 como a los 6 cm de profundidad del músculo; sin embargo, es estadísticamente significativa la disminución observada a los 4 cm ( $p < 0,05$ ).

Al analizar el efecto de la edad sobre las actividades enzimáticas (Tabla 3) se detecta que la actividad de las enzimas CS y HAD aumenta significativamente ( $p < 0,05$ ), tanto a los 4 como a los 6 cm de profundidad del músculo en equinos de 3 a 4 años de edad. La actividad LDH no pre-

senta cambios significativos; sin embargo, en la parte superficial del tejido se observa una leve disminución en los equinos de 3 y 4 años de edad.

#### DISCUSIÓN

Los resultados de este estudio demuestran que la edad de los equinos y el programa de entrenamiento realizado inducen cambios en la actividad metabólica del músculo *Gluteus medius* observada como un aumento de la actividad de las enzimas CS y HAD.

En varias especies de mamíferos se ha determinado que, tanto la composición fibrilar del músculo esquelético como las actividades enzimáticas, varían en función de la profundidad del tejido (López-Rivero, 1995); para minimizar errores de muestreo e incrementar la precisión de los resultados, en este estudio se tomaron biopsias a 4 y 6 cm de profundidad.

La adaptación más precoz y común del músculo equino al entrenamiento, independiente de su mo-

TABLA 3  
ACTIVIDAD DE CS, HAD Y LDH (mmol/min/kg)  
DEL MÚSCULO *Gluteus medius* DE EQUINOS DE RAZA  
SILLA FRANCÉS DE DIFERENTES EDADES (Promedio ± D.E.)

Edad	Actividad CS 4 cm 6 cm		Actividad HAD 4 cm 6 cm		Actividad LDH 4 cm 6 cm	
2 a 3 años (n=6)	3,9 ± 2,2a	4,4 ± 2,1a	2,6 ± 2,4a	3,2 ± 1,4a	2657 ± 762	2052 ± 370
3 a 4 años (n=6)	14,5 ± 2,2b	17,2 ± 3,3b	11,4 ± 2,1b	14,3 ± 3,2b	2020 ± 706	2247 ± 512

Letras diferentes en sentido vertical indican diferencias significativas  $p < 0,05$

dalidad, intensidad y duración, es un incremento de la capacidad oxidativa, causada por una mayor actividad de determinadas enzimas del metabolismo aeróbico (López-Rivero, 1995). En este estudio las actividades CS, HAD y LDH se utilizaron como indicadores de la adaptación metabólica a un mismo programa de entrenamiento en 2 regiones diferentes del músculo *Gluteus medius* (superficial y profunda) del equino de Silla Francés.

Al analizar las actividades de las enzimas CS y HAD se observa un aumento altamente significativo de la actividad promedio de HAD en relación a la profundidad de la muestra; en cambio, la actividad promedio de CS, si bien presenta un aumento a mayor profundidad de la biopsia, éste no es significativo. El aumento de la actividad HAD en los músculos indica que hay un incremento de la oxidación de los ácidos grasos, lográndose metabolitos que serán utilizados como sustrato para obtener energía, lo que es especialmente beneficioso para los caballos de resistencia, puesto que un aumento en la utilización de las grasas disminuye la degradación del glucógeno muscular, evitando el riesgo de fatiga. El aumento de la actividad promedio de CS no fue significativo a mayor profundidad del tejido e indica que en esta parte del músculo tiende a existir un predominio del metabolismo oxidativo. Estos resultados son coincidentes con trabajos realizados en equinos Thoroughbred y Standardbred (Guy y Snow, 1977; Essén-Gustavsson y Lindholm, 1985; Ronéus y col., 1992; López-Rivero, 1995).

Al comparar la actividad de las enzimas de los ejemplares no entrenados y después de un periodo de cuatro meses de entrenamiento se observa que la actividad promedio de CS aumentó en un 326% en la parte superficial del músculo y 180% en la región más profunda del tejido. La actividad promedio de HAD aumentó un 226% en los animales entrenados comparados con los sin entrenamiento a los 4 cm de profundidad del músculo e incrementó en un 137% a los 6 cm de profundidad de la muestra. Estos resultados coinciden con los observados por equinos andaluces y árabes en los cuales se demuestra que la adaptación más precoz y común del músculo equino al entrenamiento, independiente de su modalidad, intensidad y duración, es un incremento de la capacidad oxidativa, causado por una mayor actividad de enzimas del metabolismo aeróbico (López-Rivero, 1995).

En relación con la actividad de la enzima glucolítica LDH, se observó una disminución no

significativa a mayor profundidad de la muestra en los animales no entrenados. Los ejemplares que se sometieron a cuatro meses de entrenamiento presentan una actividad LDH menor comparada con la obtenida por los mismos animales sin entrenamiento, disminuyendo en un 26% a los 4 cm y en un 28% a los 6 cm de profundidad del músculo. De las cuales, sólo fue estadísticamente significativa la disminución a los 4 cm de profundidad de la muestra, lo que indica que la actividad LDH muscular de los animales entrenados es muy similar tanto en las regiones profundas como superficiales del músculo. Estos resultados concuerdan con la composición fibrilar del músculo *Gluteus medius* de estos ejemplares en los cuales disminuye el porcentaje de fibras no oxidativas en los equinos sin entrenamiento (Vargas, 2003) y con estudios realizados por otros investigadores, quienes demuestran que el entrenamiento influye en la proporción de fibras no oxidativas del músculo esquelético de equinos, disminuyendo éstas a favor de las fibras oxidativas (Guy y Snow, 1977; Essén-Gustavsson y Lindholm, 1985; Ronéus y col., 1992). Se ha demostrado que durante el ejercicio los animales entrenados obtienen la mayor cantidad de energía desde las vías metabólicas aeróbicas; sin embargo, la vía glucolítica, de tipo anaeróbica, sigue funcionando y contribuye con la formación de ácido láctico que por vía neoglucogénica (ciclo de Cori) se convierte en glucosa, evitando la variación de pH y la fatiga muscular.

Al analizar los resultados de acuerdo a la edad de los animales se observa que los que permanecieron sin entrenamiento tienen actividades enzimáticas similares a los ejemplares que realizaron entrenamiento durante cuatro meses. Al comparar la actividad de las enzimas de los animales que tenían dos a tres años de edad y después cumplir un año más de vida (tres a cuatro años) se observa un incremento de las actividades CS y HAD y una disminución de la actividad LDH. Estos valores son muy semejantes a los obtenidos en los ejemplares después de cuatro meses de entrenamiento, lo que estaría señalando que el cambio en la actividad de las enzimas estudiadas es consecuencia del crecimiento y desarrollo muscular de los animales debido a la edad, que se ha demostrado produce cambios en la composición fibrilar del músculo y da como resultado un aumento de la actividad de las enzimas que participan en vías metabólicas aeróbicas y una disminución de la actividad de enzimas que pertenecen a rutas metabólicas anaeróbicas.

El aumento de la capacidad oxidativa del músculo *Gluteus medius* de estos equinos de Silla Francés está directamente relacionado con el incremento de las fibras tipo I que presentan estos ejemplares, posterior al período de entrenamiento en caballos de 3 y 4 años de edad (Vargas, 2003), resultados que concuerdan con los obtenidos por otros autores, quienes demuestran que la edad afecta la composición fibrilar del músculo *Gluteus medius* aumentando las fibras tipo I y como consecuencia incrementan la capacidad oxidativa, permitiendo que con la edad el músculo se haga más resistente a la fatiga (Dingboom y col., 2002).

De los resultados se puede concluir que el aumento de la capacidad oxidativa del músculo *Gluteus medius* de equinos de raza Silla Francés se debe a la edad más que al entrenamiento realizado por los ejemplares. Se puede señalar que en este período de crecimiento de los equinos el ejercicio no influyó significativamente sobre la actividad metabólica del músculo probablemente porque el entrenamiento al que fueron sometidos no produjo bastante estímulo para inducir cambios notables en el *Gluteus medius*.

#### RESUMEN

Con el fin de conocer el metabolismo muscular de los equinos de Silla Francés se estudió la actividad de algunas enzimas del metabolismo aeróbico y anaeróbico en biopsias tomadas a dos profundidades del músculo *Gluteus medius* de equinos de distinta edad y sexo y sometidos a entrenamiento. Para analizar el efecto de la edad y el entrenamiento un grupo de ejemplares permaneció durante un año sin realizar ejercicios. Los resultados obtenidos muestran que la actividad de las enzimas CS y HAD es mayor en la parte más profunda del tejido muscular ( $p < 0,05$ ).

La actividad LDH disminuye con la profundidad de la biopsia ( $p > 0,05$ ) en los ejemplares entrenados y no entrenados.

#### BIBLIOGRAFÍA

- DINGBOOM, E.G., VAN OUDHEUSDEN, H., EIZEMA, K., WEIJS, W.A. 2002. *Changes in fibre type composition of Gluteus medius and semitendinosus muscles of Dutch Warmblood foals and the effect of exercise during the first year postpartum*. Equine Vet. J. 34:177-183.
- ESSÉN-GUSTAVSSON, B., A. LINDHOLM, J. THORNTON. 1980. *Histochemical properties of muscle fibre types and enzyme activities in skeletal muscles of Standardbred trotters of different ages*. Equine Vet. J. 12 (4):175-180.
- ESSÉN-GUSTAVSSON, B., A. LINDHOLM. 1985. *Muscle fibre characteristics of active and inactive Standardbred horses*. Equine Veterinary Journal 17 (6): 434-438.
- GUY, P.S., SNOW, D.H. 1977. *The effects of training and detraining on muscle composition in the horse*. J. Physiol. 269:33-51.
- ISLAS, A., J.L. LÓPEZ-RIVERO, M. QUEZADA, G. MORA, V. MERINO, M. BRIONES, P. PÉREZ, G. AGUIRRE, L. MARÍN. 1997. *Características histoquímicas y bioquímicas de las fibras del músculo Gluteus medius en equinos de tiro descendientes del plan de fomento equino*. Arch. Med. Vet. 29 (1):35-43.
- LINDHOLM, A., K. PIEHL. 1974. *Fibre composition, enzyme activity and concentration of metabolites and electrolytes in muscle of standardbred horses*. Acta Vet. Scand. 15:287-309.
- LÓPEZ-RIVERO, J.L., A. SERRANO. 1998. *Composición fibrilar del músculo Gluteus medius en equinos con distinto historial en carreras de resistencia*. Arch. Med. Vet. 30 (1):115-123.
- LÓPEZ-RIVERO, J.L. 1993. *Características histoquímicas, bioquímicas y morfológicas del músculo esquelético del equino*. Agro-Ciencia 9 (2):113-131.
- LÓPEZ-RIVERO, J.L. 1995. *Efecto del entrenamiento sobre el músculo esquelético del equino*. Agro-Ciencia 11(1):71-85.
- VALBERG S., GUSTAVSSON B.E., LINDHOLM A., PERSSON S.G. 1989. *Blood chemistry and skeletal muscle metabolic responses during and after different speeds and durations of trotting*. Equine Vet J. 21(2):91-5.