

Perfil metabólico del músculo semitendinoso del cerdo

Graziotti, G.H.¹; Rodríguez Menéndez, J.¹; Ríos, M.C.¹; Salinas, M.<¹; Paltenghi Ceschel, A.¹; Affricano, O.¹; Bosco, A.¹; Victorica, C; Basso, L.²

RESUMEN

Nuestro objetivo ha sido conocer el diseño arquitectónico y el perfil metabólico del músculo semitendinoso, para ser aplicado en estudios zootécnicos. Diversos estudios documentan que los músculos están compuestos por subvolúmenes denominados compartimientos neuromusculares. En estos pueden variar las características de las fibras, siendo la capacidad oxidativa, una de las más importantes en el proceso de transformación del músculo en carne de calidad. En el músculo semitendinoso, luego de fijación y digestión con ácido nítrico al 25%, fueron estudiados el diseño estructural, siguiendo la distribución de las ramas primarias del nervio ciático. En cada subvolumen determinado, se midió el perfil metabólico valorando la actividad de la enzima nicotinamida dinucleótido tetrazolium reductasa en muestras extraídas de cada subvolumen. En cada mitad axial del vientre muscular se determinaron 2 compartimientos, proximal y distal, existiendo mayor capacidad oxidativa significativa ($p < 0,05$) en el compartimiento distomedial con respecto a los restantes. En consecuencia, creemos que el diseño estructural del músculo semitendinoso debiera ser tenido en cuenta para determinar la correspondencia con aquellos estudios físicos y bioquímicos, involucrados en la calidad de carne. Este estudio puede ser útil como base para futuras investigaciones en la industria de la carne.

Palabras clave: (semitendinoso), (cerdo), (calidad de carne), (metabolismo muscular).

¹Área de Anatomía. Facultad de Ciencias Veterinarias Universidad de Buenos Aires. Chorroarín 280. Cdad Bs As. CWO 1427. ARGENTINA. Email: ggrazio@fvvet.uba.ar., ²Departamento de Producción Animal. Facultad de Agronomía. Universidad de Buenos Aires.

Investigación desarrollada en el marco del Proyecto UBACYT V-803 (2006-2009). UBA.

Recibido: octubre 2007 - Aceptado: octubre 2007 - Versión on line: diciembre 2007

Metabolic profile of the semitendinosus muscle in the pig

SUMMARY

Our objective has been to know the architectural design and the metabolic profile of the semitendinosus muscle, for applying to husbandry studies. Diverse studies have documented that muscles are composed by subvolumens called neuromuscular compartments.

The characteristics of the fibers vary among the subvolumens. The oxidative capacity is one of the most important characteristic in the process of muscle transformation into good quality meat. After fixing and digesting in 25% nitric acid, the structural design of the semitendinosus muscle, following the distribution of the sciatic nerve primary branches, was studied.

Two compartments, proximal and distal, were determined in the axial half of each belly muscle. The distal-medial compartment had a significant higher oxidative capacity ($p < 0,05$) compare with the other compartments. Consequently, we consider that the semitendinosus muscle structural design might be consider when determine the biochemical and physical studies involving the meat quality. This study may be useful for future researchers in the meat industry.

Key Words: semitendinosus, pig, meat quality, muscular metabolism

INTRODUCCIÓN

Los músculos esqueléticos de los mamíferos están compuestos por subvolúmenes denominados compartimientos neuromusculares, en los cuales pueden variar el diseño arquitectónico macroscópico y las características de las fibras, incluido el perfil metabólico^{19, 8, 5, 12, 16, 11}. El conocimiento de la estructura de un músculo dado, tiene interés tanto en el estudio de la función muscular, como en las aptitudes para obtener un producto de calidad en la transformación del músculo en carne.

Más específicamente, la valoración de la calidad de la carne mediante la capacidad de retención de agua, color, textura y pH, están determinadas por el nivel y extensión del metabolismo muscular post-mortem, el que a su vez puede estar influenciado por modificaciones bioquímicas y fisiológicas ante-mortem¹⁵. La interacción entre las fibras musculares, el metabolismo de las mismas en los momentos próximos (anteriores o

posteriores) a la faena y diversos factores ambientales, determinan las transformaciones post-mortem del músculo en carne¹⁴. En todas estas variables, influye positivamente la capacidad oxidativa del músculo. Sin embargo en la selección de cerdos hacia animales de rápido crecimiento, los músculos tienden a disminuir la capacidad oxidativa, aumentar la glicolítica con aumento de la sección transversal de las fibras, disminuyendo la aptitud para transformarse en carne de calidad¹.

El perfil metabólico predominante no es uniforme para el músculo en conjunto, sino que puede variar significativamente entre los subvolúmenes¹¹. Por lo tanto, en las especies de abasto, estos deben ser considerados para realizar luego en ellos, los estudios físicos y bioquímicos que determinan la calidad de carne. Surge entonces la necesidad de establecer referencias anatómicas en los músculos estudiados, para orientar la toma de muestras sobre las que se harán las pruebas físicas y químicas de valor zootécnico¹³.

El músculo semitendinoso del cerdo (MSTC) es, junto con el músculo longissimus dorsi, uno de los más estudiados en investigaciones sobre calidad de carne, cuando se evalúan sistemas de crianza, alimentación, y la interacción entre el genotipo y el ambiente.

El objetivo de este trabajo ha sido determinar el diseño arquitectónico del MSTC, y el perfil metabólico de cada compartimiento, para ser aplicado en estudios zootécnicos.

MATERIALES Y MÉTODOS

Anatomía macroscópica

A partir de 5 medias reses derechas de cerdos faenados para consumo, fueron extraídos los músculos semitendinosos (ST), preservando el pedículo del nervio ciático. Seguidamente los músculos fueron cuidadosamente desprovistos de tejido conectivo y adiposo, para luego ser fijados por inmersión en solución de formalina al 10% durante 30 días, lavados con agua corriente durante 3 horas, sumergidos en solución de ácido nítrico al 25% durante 10 días, con controles cada 48 horas¹². Al cabo del mismo, los músculos fueron lavados mediante goteo con agua corriente durante 96 horas, para realizar luego disección macroscópica roma, siguiendo las ramas primarias del nervio isquiático. La longitud de las fibras musculares fue medida con calibre a partir de la longitud del fascículo, asumiendo que las fibras miden un 5% menos que ésta¹⁹.

Histoquímica

A partir de los subvolumenes determinados en el estudio macroscópico previo, muestras musculares fueron tomadas por escisión en 30 músculos semitendinosos del lado derecho de cerdos faenados para consumo hasta 6 horas antes, cubiertas con polvo de talco y congeladas por inmersión durante 40 segundos en nitrógeno líquido y conservadas a $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta análisis.

Cortes de las mismas de $10\text{ }\mu\text{m}$ de espesor fueron realizados en un crióstato Reichert- Jung, $1800\text{ }^{\circ}\text{K}$ a $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$, y montados en portaobjetos previamente tratados para histoquímica con solución de polilisina (Poly-Lysine Sigma P-8920 U.S.A) al 1 %. Los cerdos pertenecientes a la genética INTA-MGC, con una composición 25% Duroc, 30% Yorkshire, 5% Pietrain y 40% Landrace, machos castrados, fueron faenados a los 100 kg de peso, y se encontraban en un sistema de producción al aire libre en potreros rotativos de 1,5 hectáreas.

Con el objeto de determinar la capacidad oxidativa de cada corte, fue evaluada la actividad de la enzima nicotinamida dinucleótido tetrazolium reductasa (NADH-TR)⁷. Imágenes de cada corte fueron digitalizadas en formato TIFF (40X, 150 pixels/pulgada) utilizando el programa Motic Image Plus 2.0. En cada imagen, se dibujó una máscara siguiendo los bordes del perimio interfascicular en un área limitada por el contorno de 3 fascículos adyacentes, y medida en ella la densidad óptica (DO) en forma directa, a través de perfiles de blanco y negro, usando el analizador de imágenes Scion Image, modificado para Windows por Scion Corporation, versión Beta 3b, con una escala de 0,367 pixels x μm . Debido a que las adyacencias del perimio se halla ocupada preferentemente por fibras anaeróbicas¹⁷, el límite de cada área evaluada coincidió con la distribución del mismo, para disminuir el error metodológico. Los valores de la capacidad oxidativa (DO) entre los subvolumenes fueron analizados con la técnica de análisis de la varianza ($p = 0,05$) en un diseño en bloques al azar, comparando los valores medios de las regiones utilizando el método de Tukey.

RESULTADOS

En el músculo semitendinoso del cerdo fueron determinados macroscópicamente

cuatro compartimientos, proximal medial (PM), distal medial (DM), proximal lateral (PL) y distal lateral (DL) (Figura 1). En los cuatro compartimientos las fibras presentaron una dirección paralela, con sarcómeros ordenados en serie, y la longitud de las fibras fue uniforme, de 35-40 mm. Una intersección tendinosa rudimentaria fue identificada en la parte medial del músculo, aproximadamente en la mitad del vientre. Se observó además, una cabeza vertebral poco desarrollada con gran contenido fibroso, carente de interés zootécnico.

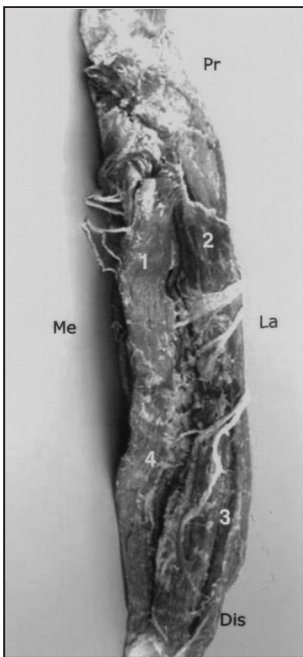


Figura 1: Diseción del MSTC derecho, vista craneal, luego del tratamiento con ácido nítrico al 25%. Lado lateral (La); lado medial (Me); extremo proximal (Pr); extremo distal (Dis). Los compartimientos PM, PL, DL y DM, se indican en 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Puede observarse la distribución de las ramas del nervio ciático.

Al considerar la capacidad oxidativa (DO) de cada subvolumen, las regiones PM, PL y DL no se diferencian significativamente entre ellas ($p > 0.05$). En cambio, en la región DM la capacidad oxidativa es mayor significativamente con respecto a las restantes ($p < 0.05$) (Tabla 1, Figura 2). También existe un predominio oxidativo en el compartimiento PM, aunque no existe significación estadística con respecto a los compartimientos laterales (PL y PD). La Figura 2 muestra en forma evidente la capacidad oxidativa del compartimiento DM (Panel D), con respecto a los glicolíticos PL y DL (Paneles B y C); asimismo se observa una tendencia al predominio oxidativo en PM (Panel A).

DISCUSIÓN

Para nuestro conocimiento este es el primer estudio de la capacidad oxidativa del MSTC teniendo en cuenta el diseño arquitectónico. Los resultados indican que la organización del músculo difiere con respecto a los pequeños mamíferos. La compartimentalización y arquitectura del músculo ST ha sido documentada en ratón, rata, cobayo y conejos¹⁹, describiéndose un vientre proximal, a su vez subdividido, y un vientre distal, separados ambos por un tabique tendinoso bien evidente. En el MSTC el tabique intermedio es sólo vestigial y presente en medial del músculo coincidiendo nuestros resultados con lo documentado por otros autores². En el músculo ST del gato, se describe la existencia de 2 cabezas, proximal y distal, entre las cuales se encuentra una inscripción tendinosa⁸. Otros autores^{3,4,9}, dividen al MSTC en partes oxidativa profunda y glicolítica superficial, aunque no documentan mayores precisiones de los límites de las mismas. De acuerdo al diseño arquitectónico y al perfil metabólico descrito en

Tabla 1: Se indican los valores medios de DO de cada región. Aquellos valores con igual superíndice no presentan diferencia significativa ($p>0,05$).

Regiones	Medias	EE	N
PL	88,94 ^a	6,46	19
DL	87,59 ^a	4,76	22
PM	110,18 ^a	5,48	23
DM	139,94	4,63	24

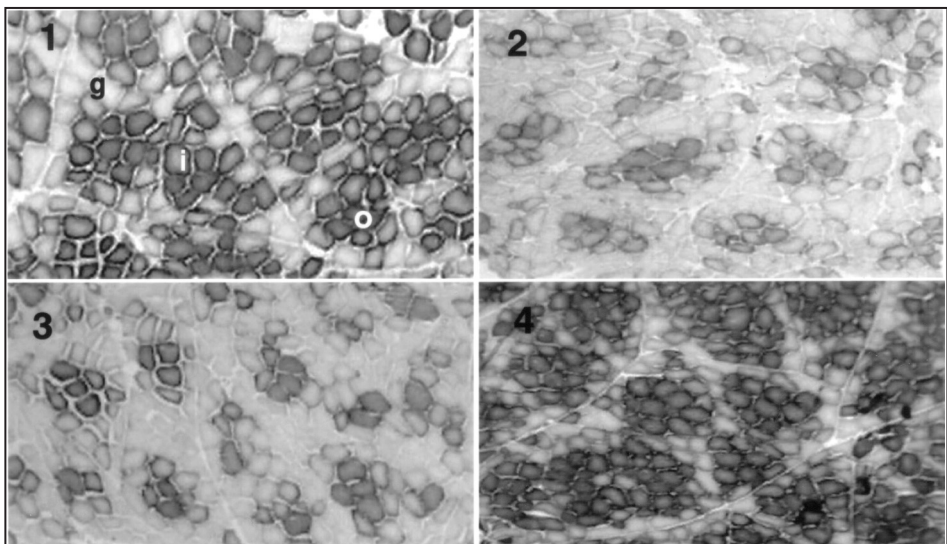


Figura 2: Secciones teñidas por la reacción de NADH-TR, indicando la capacidad oxidativa, correspondientes a un mismo animal. Las regiones PM, PL, DL y DM están indicadas en 1, 2, 3 y 4 respectivamente. Las fibras oxidativas (o), glicolíticas (g) e intermedias (i), se indican en el panel 1. Puede apreciarse el mayor contenido de fibras oxidativas en 1 y 4.

este trabajo, existe una división latero-lateral del músculo en conjunto, de acuerdo al eje del mismo, y a la vez un ordenamiento próximo-distal, ya que si bien ambos compartimientos mediales tienen un predominio oxidativo, sólo el ventral lo es en forma significativa (Tabla 1).

Documentaciones previas en equino y llama^{12, 10} indican que, en subvolumenes musculares con diseño de fibras ordenadas en paralelo (sarcómeros en serie) y diseño con fibras oblicuas (sarcómeros en paralelo) predominan poblaciones de fibras anaeróbicas

y aeróbicas respectivamente. Sin embargo, mientras que el diseño arquitectónico del MSTC es uniforme en cuanto a la orientación paralela de las fibras y a su longitud, claramente presenta con respecto a la capacidad oxidativa de la población de fibras, un ordenamiento a lo largo del eje próximo-distal, como se ha documentado en otros mamíferos^{12,20}, para los compartimientos mediales y a lo largo del eje látero-medial del vientre muscular¹⁶, aunque significativamente sólo para la mitad distal del vientre muscular¹⁶. No existe un ordenamiento clásico en relación a superficie/profundidad según la distancia entre los planos cutáneo y óseo. En el músculo ST de pequeños mamíferos, se ha documentado una organización como en el MSTC con fibras paralelas, existiendo un predominio de fibras oxidativas en el compartimiento ubicado inmediatamente proximal a la intersección tendinosa¹⁹; esta última diferencia con respecto al MSTC probablemente se debe al tipo de locomoción, muy distinto entre el cerdo y los pequeños mamíferos (rata, ratón, hamster, conejo).

Sin embargo, como sólo una muestra muscular fue analizada a partir de cada compartimiento, nuestros resultados no excluyen la posible existencia de una modificación más gradual del tipo de metabolismo fibrilar entre los límites de los subvolumenes denominada regionalización fibrilar¹⁶, dentro de los compartimientos individuales.

Si bien en este estudio no se ha hecho la tipificación de fibras, puede inferirse que en los subvolumenes PL y DL fuertemente glicolíticos, existe un predominio de fibras IIX y IIB, mientras que en el subvolumen DM significativamente oxidativo, debiera existir preponderancia de las fibras de tipo I y IIA. Documentaciones previas^{10,18,1} indican que la capacidad oxidativa más alta se presenta en las fibras de tipo I, y la más baja en el tipo IIB; las

fibras IIA y IIX son intermedias, existiendo un alto grado de coordinación entre el contenido de isoforma de miosina que caracterizan el tipo de fibra y sus propiedades anatómicas, fisiológicas y bioquímicas. La presencia en nuestros resultados de un compartimiento en el MSTC con significativa capacidad oxidativa (DM) con respecto al músculo en conjunto, podría explicarse por integrar este músculo el tendón calcáneo común, junto al músculo bíceps femoral, extendiendo el tarso. Al respecto para este último músculo en conjunto, fue documentada mayor capacidad oxidativa que en el músculo semimembranoso del cerdo I. Puede inferirse entonces, que el compartimiento significativamente más oxidativo (DM) en el MSTC, se encuentra funcionalmente involucrado en una acción postural extensora del tarso, y a su vez con mejores aptitudes determinantes de la calidad de carne que los restantes subvolumenes.

Para nuestro criterio, la falta de uniformidad en la capacidad oxidativa en el MSTC mencionada más arriba, es importante, pues como se documenta en un reciente trabajo⁶, el mayor contenido de fibras rápidas oxidativas IIA y IIX mejora los parámetros de calidad de carne referidos al pH, capacidad de retención de agua, textura, color y terneza, mientras que el porcentaje de fibras tipo I no parece influenciarlos y el de tipo IIB perjudica dichos parámetros.

En conclusión, el MSTC se compone de 4 compartimientos PM, PL, DM y DL, aunque la diferencia significativa en el perfil metabólico se encuentra sólo en el compartimiento DM, de mayor capacidad oxidativa. En consecuencia, creemos que esta estructura del MSTC debiera ser tenida en cuenta para determinar la correspondencia con aquellos estudios físicos y bioquímicos, involucrados en la calidad de carne. La divergencia de resultados

previos al considerar las características de las fibras y la calidad de carne, sugiere que un muestreo, realizado sin un estudio anatómico, probablemente explicaría la controversia de resultados entre las características del músculo y el valor zootécnico. Los estudios estructurales y metabólicos previos, debieran extenderse a todo otro músculo utilizado en la determinación de estudios físicos y bioquímicos para determinar la calidad de carne. Más específicamente aún, los resultados no podrían extenderse a las distintas razas, debido a que la expresión fenotípica de las fibras, como la sección transversa media y la capacidad oxidativa, no es constante entre ellas, aún para un mismo músculo⁶.

Este estudio puede ser útil como base para futuros trabajos en la industria de carne porcina y además ofrecer una nueva perspectiva de aplicación en la tipificación de fibras en la industria de la carne de cerdo.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue financiado en el marco de los proyectos UBACYT V-803 y G-010. Los autores agradecen al Dr Campagna D (Universidad Nacional de Rosario) y al INTA estación Marcos Juárez por la gentil cesión del material de faena.

BIBLIOGRAFÍA

1. Abreu, E.; Mayoral, A.I.; Rivero, J.L.L. Myosin heavy chain fibre types and fibre sizes in nuliparous and primiparous ovariectomized Iberian sows: interaction with two alternative rearing systems during the fattening period. *Meat Sci* 2006; 74:359-372.
2. Barone, R. *Anatomie Comparée des Mammifères Domestiques, Arthrologie Myologie*, Segunda Parte. Primer Capítulo. Vigot, Paris, pp 385-387. 1996.
3. Bee, G.; Guex, G.; Herzog, W. Free-range rearing of pigs during the winter: adaptations in muscle fiber characteristics and effects on adipose tissue composition and meat quality traits. *J Anim Sci* 2004; 82:1206-1218.
4. Bee, G.; Biolley, C.; Guex, G.; Herzog, W. Lonergan SM, Huff-Lonergan E. Effects of available dietary carbohydrate and preslaughter treatment on glycolytic potential, protein degradation, and quality traits of pig muscles. *J Anim. Sci* 2006; 84:191-203.
5. Bruce, V.L.; Turek, R.J.; Schurg, W.A. Muscle fibre compartmentalization in the gluteus medius of the horse. *Equine Veterinary J* 1993; 25:69-72.
6. Chang, K.C.; Da Costa, N.; Blackley, R. et al. Relationships of myosin heavy chain fibre types to meat quality traits in traditional and modern pigs. *Meat Sc* 2003; 64:93-103.
7. Dubowitz, V. *Muscle Biopsy: a practical approach* 2nd edn. London: Bailliere Tindall. 1985.
8. English, A.W.M.; Weeks, O.I. An anatomical and functional analysis of cat biceps femoris and semitendinosus muscles. *J of Morphol* 1987; 191:161-175.
9. Gondret, F.; Lefaucheur, L.; Louveau, I.; Lebret, B.; Pichodo, X. and Le Cozler, Y. Influence of piglet birth weight on postnatal growth performance, tissue lipogenic capacity and muscle histological traits at market weight. *Livestock Prod Sci* 2005; 93:137-146.
10. Graziotti, G.H.; Palencia, P.; Delhon, G.; Rivero, J.L.L. Neuromuscular partitioning, architectural design, and myosin fiber types of the M. vastus lateralis of the llama (*Lama glama*). *J of Morphol* 2004; 262:667-681.
11. Graziotti, G.H.; Palencia, P.; Delhon, G.; Rivero, J.L.L. Fiber muscle types in adult female pigs as determined by combining histochemical and immunohistochemical methods. *Rev Chil Anat* 2001; 19:167-173.
12. Hermanson, J.W. Architecture and the division of labor in the extensor carpi radialis muscle of

- horse. *Acta Anat* 1997; 159:127-135.
13. Janz, J.A.M.; Aalhus, J.L.; Dugan, M.E.R.; Price, M.A. A mapping method for the description of Warner- Bratzler shear force gradients in beef longissimus thoracis et lumborum and semitendinosus. *Meat Sci* 2006; 72:79-90.
 14. Karlsson, A.H.; Klont, R.E.; Fernandez, X. Skeletal muscle fibres as factors for pork quality. *Livestock Prod Sci* 1999; 60:255-269.
 15. Klont, R.E.; Hulsegge, B.; Hoving-Bolink, A.H. et al. Relation between behavioral and meat quality characteristics of pigs raised under barren and enriched housing conditions. *J. Anim. Sci* 2001; 79:2835-2843.
 16. Kernell, D. Muscle regionalization. *Can J Appl Physiol* 1998; 23:1-22.
 17. McConathy, D.; Giddings, C.J.; Gonyea, W.J. Structure-function relationships of the flexor carpi radialis muscle compared among four species of mammals. *J of Morphol* 1983; 175:279-292.
 18. Quiroz-Rothe, E.; Rivero, J.L.L. Coordinated expression of myosin heavy chains, metabolic enzymes, and morphological features of porcine skeletal muscle fiber types. *Microsc Res and Tech* 2004; 65:43-61.
 19. Roy, R.R.; Powell, P.L.; Kanim, P.; Simpson, D.R. Architectural and histochemical analysis of the semitendinosus muscle in mice, rats, guinea pigs, and rabbits. *J of Morphol* 1984; 18:155-160.
 20. Wang, L.; Kernell, D. Proximo-distal organization and fibre type regionalization in rat hindlimb muscles. *J Muscle Res Cell Motil* 2000; 21:587-598.