

# Atlarda İskelet Kas Lif Tiplerinin Sportif Performansa Etkisi

## The Effect of Skeletal Muscle Fiber Types on Equine Performance: Review

Berjan DEMİRTAŞ<sup>a</sup>

<sup>a</sup>İstanbul Üniversitesi,  
Veteriner Fakültesi Meslek Yüksekokulu,  
İstanbul

Geliş Tarihi/Received: 18.01.2016  
Kabul Tarihi/Accepted: 22.02.2016

*Bu çalışma İstanbul Üniversitesi  
Bilimsel Araştırma Birimi tarafından  
desteklenmiştir (BYP, Proje no: 38872).*

Yazışma Adresi/Correspondence:  
Berjan DEMİRTAŞ  
İstanbul Üniversitesi,  
Veteriner Fakültesi Meslek Yüksekokulu,  
İstanbul, TÜRKİYE  
berjan@istanbul.edu.tr

**ÖZET** Atlarda vücudun yaklaşık %50-55'ini kaslar oluşturmaktadır. Hareketin oluşmasını sağlayan iskelet kasları, kontraktıl ve metabolik özellikleri birbirinden farklı liflerden oluşmuştur. Bunlar Tip I ve Tip II olarak sınıflandırılmaktadır. Tip II'nin Tip IIA ve Tip IIX olarak isimlendirilen iki alt tipi vardır. İskelet kasındaki lif tiplerinin oranları genetik ve genetik olmayan faktörlere bağlı olarak farklılık göstermektedir. İskelet kas lifleri antrenmana çok çabuk adaptasyon göstermektedir. Uygun antrenman programları ile kas lif tiplerinin oranları değiştirilebilmektedir. Liflerin uyum mekanizmasında antrenman programındaki yüklemenin şiddeti (hız) ve süresi (veya mesafe) önemlidir. Atlar hız, dayanıklılık ve güç bakımından farklı nitelikleri olan sportif aktivitelerde bulunmaktadır. Atların yarışacağı aktivite türüne göre, lif tiplerinin oranının uygun antrenman programıyla değiştirilebilmesi sportif performansın geliştirilmesinde önemli rol oynamaktadır. İskelet kaslarındaki lif tiplerini tanıma ve antrenmana uyum mekanizmasını anlama, uygun antrenman programı geliştirerek atlarda sportif performansın artırılmasında önemlidir.

**Anahtar Kelimeler:** Egzersiz; kas lifleri, iskeletsel; atlar

**ABSTRACT** Skeletal muscles in the horse make up around 50-55% of the total body mass. Being responsible from locomotion, skeletal muscles are made up of different types of muscle fibers (Type I, Type IIA and Type IIX) which have different contractile and metabolic properties. Fiber type compositions in skeletal muscle are effected by genetic and non-genetic factors. While genetic factors such as breed type, blood line and sex differences have important role in determination of the fiber type composition, training a horse can also change the fiber type composition of equine skeletal muscle. Equine skeletal muscle fibers have considerable potential to adapt during training. There is close relationship between fiber type composition and athletic performance. The intensity and duration of training programme are very important to develop muscular responses to training. Horses perform in activities of different speed, strength and endurance. There is close relationship between fiber type composition and athletic performance. Understanding a little about different types of muscle fibers and how they adapt to training one can improve training programme, hence maximize the horse performance.

**Key Words:** Exercise; muscle fibers, skeletal; horses

Türkiye Klinikleri J Vet Sci 2015;6(2):54-9

Atlarda istenilen sportif performansın sağlanmasında iskelet kaslarının önemi büyüktür. Sportif aktivitelerde hareketin oluşumu iskelet kaslarının kasılmasına bağlıdır. İskelet kası, kasılabilen ve kasılma esnasında kimyasal enerjiyi mekanik enerjiye dönüştüren farklı tipteki kas liflerinden oluşmuştur. Lif tipleri, atın sportif performansını an-

lama ve geliştirme açısından önemlidir. Çünkü farklı kas lif tipleri sayesinde atlar, hız, kuvvet ve dayanıklılık gibi performans öğelerini gerektiren sportif aktiviteleri gerçekleştirebilmektedir.

Spor atları, hızı saniyede 20-25 m'yi bulan ve yüksek efor gerektiren kısa mesafe yarışlarından (Quarter atları), 5-6 m/sn'lik hızın yeterli olduğu, fakat yüksek dayanıklılık gerektiren 160 km'lik endürans yarışlarına kadar farklı tiplerdeki sportif aktiviteler göstermektedirler.

Spor atlarının aktiviteleri başlıca üç başlık altında toplanabilir.

**1. Dayanıklılık aktivitesi (20-160 km):** İki saat ya da daha fazla süreyle düşük hızlarda ve enerjinin aerobik yolla sağlandığı bir performanstır. Bu yarışlarda dayanıklılığın fazla olması istenilen bir durumdur. Dayanıklılık aktivitesine endürans yarışları ya da uzun süreli arazi yürüyüşleri örnek gösterilebilir.

**2. Orta mesafe aktivitesi (1.000-3.200 m):** Birkaç dakikalık sürede, atın kapasitesinin %75-95'i ile çalıştığı ve enerji ihtiyacının hem aerobik hem de anaerobik yollarla sağlandığı performans tipidir. Bu yarışlarda, atın hem hız hem de dayanıklılığa ilişkin özelliklerinin gelişmiş olması önemlidir. 1.000-3.200 m arasında koşulan düz yarışlar ve Standardbred ırkı ile yapılan tırıs yarışları bu aktivite türünü içermektedir.

**3. Sprint aktivitesi (400-800 m):** Bu aktivitede süre en fazla 1 dakika olup, at %100 kapasite ile iş yapmaktadır. Enerji gereksinimi esas olarak anaerobik yolla sağlanmaktadır. Bu yarışlarda atın hız ve güç özelliklerinin gelişmiş olması, istenilen performansı yakalamak açısından önemlidir. Quarter ırkı atlarla yapılan sprint yarışları ve 800 m düz yarışları bu grupta yer almaktadır.

## İSKELET KAS LİF TİPLERİ

İnsanlarda olduğu gibi, atlarda da iskelet kası metabolik ve kontraktıl yapıları birbirinden farklı olan kas liflerinden oluşmuştur.<sup>1-3</sup> Kas liflerindeki bu farklılık, miyofibril ve sarkoplazmik retikülumdaki yapısal proteinler ile enzimlerin farklı izoformlarının olmasından kaynaklanmaktadır. Her bir lifte

lifin tipine göre aynı proteinin farklı izoformları bulunmaktadır.<sup>1-3</sup> Buna bağlı olarak kas lifinin büyüklüğü, kasılma hızı, oksidatif veya glikolitik metabolizma kapasitesi ve yağ içeriği değişmektedir.<sup>4</sup>

Her bir kas lifi belli bir motor nöronla innerve edilmektedir. Bir motor nöron ve innerve ettiği kas lifleri motor ünite olarak adlandırılmaktadır. Bir motor üniteyi oluşturan bütün kas liflerinin kasılma ve metabolik özellikleri aynıdır. Kasın kasılma özellikleri lif tipinin ötesinde, innerve eden motor sinire de bağlıdır. İskelet kaslarında liflerin kasılma hızını, miyozin filamentinin globüler kısmında bulunan ATPaz enziminin izoformları belirlemektedir. İskelet kası, miyozin-ATPaz enzim aktivitesine, dolayısıyla kasılma hızına bağlı olarak başlıca iki farklı lif tipinden oluşmuştur. Bunlar Tip I ve Tip II olarak adlandırılmaktadır.

**1. Tip I:** Miyozin-ATPaz enzim aktivitesi düşük olduğundan kasılma hızları yavaştır. Yorgunluğa dayanıklı, ancak hız ve güç üretme yetenekleri düşüktür. Kapiller damarlardan zengin olup, bol miktarda mitokondri ve miyogloblin içermektedirler. Aerobik (oksidatif) yolla enerji üretmektedirler.

**2. Tip II:** Bu liflerde miyozin-ATPaz aktivitesi fazla olduğu için hızlı kasılabilmektedir. Güç üretimleri yüksek olmasına rağmen çabuk yorulmaktadırlar. Tip II kas lifleri kendi içinde Tip IIA ve Tip IIX olmak üzere iki alt gruba ayrılmaktadır.

**a) Tip IIA:** Hızlı ve yorgunluğa dayanıklıdırlar. Tip I ile Tip IIX arasında bir özelliğe sahiptirler. Tip IIX'lere göre daha çok kapiller damar, mitokondri ve miyogloblin içermektedir. Hem aerobik (oksidatif) hem de anaerobik (glikolitik) yolla enerji elde edebilmektedirler. Aerobik yolla da enerji elde edebildiklerinden, Tip IIX'lere göre daha uzun süre yorulmadan kasılma yeteneklerini sürdürebilmektedirler.

**b) Tip IIX:** Hızlı ve çabuk yorulmaktadırlar. Kasılma hızı en yüksek olan liflerdir. Mitokondri ve miyogloblin yoğunlukları çok düşük olduğundan anaerobik (glikolitik) yolla enerji sağlamaktadırlar. Bu nedenle diğer lif tiplerine göre çok çabuk yorulmaktadırlar.

**TABLO 1:** Atın iskelet kas lif tipleri.

	<b>Tip I</b> <b>Yavaş oksidatif</b>	<b>Tip IIA</b> <b>Hızlı oksidatif -glikolitik</b>	<b>Tip IIX</b> <b>Hızlı glikolitik</b>
<b>Fizyoloji</b>			
Motor ünite	Yavaş-yorgunluğa dayanıklı	Hızlı-yorgunluğa dayanıklı	Hızlı-yorulabilir
Kontraksiyon hızı	Yavaş	Hızlı	Çok hızlı
Güç	Düşük	Orta	Yüksek
Yorgunluğa direnç	+++	++	+
<b>Morfoloji</b>			
Renk	Kırmızı	Kırmızı	Beyaz
Miyoglobin	+++	++	+
Mitokondri sayısı	+++	++	+
Çapı	+	++	+++
<b>Besin maddeleri</b>			
Glikojen	++	+++	+++
Yağlar	+++	++	+
<b>Enzim özellikleri</b>			
Miyozin ATPaz	+	+++	+++
Glikolitik enzim	+	++	+++
Oksidatif enzim	+++	++	+

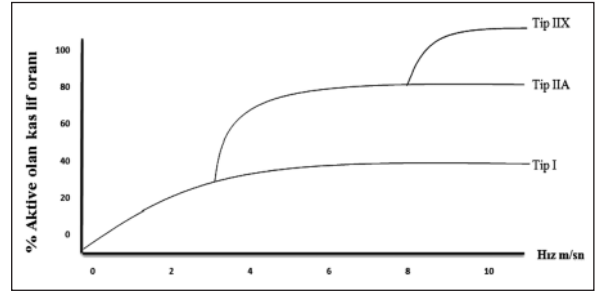
Tablo 1’de, at iskelet kas lif tiplerinin fizyolojik, morfolojik ve biyokimyasal özellikleri görülmektedir.

## EGZERSİZ SIRASINDA KAS LİF TİPLERİ, METABOLİZMALARI VE PERFORMANS ÜZERİNE ETKİLERİ

Farklı sportif aktiviteler gösteren atlarda performansı değerlendirmede kas lif tipleri önemli rol oynamaktadır. Egzersiz sırasında kas lifleri belli bir düzen içinde devreye girmektedir. Egzersizin şiddeti (hızı) ve süresine göre sırasıyla Tip I → Tip IIA → Tip IIX devreye girmektedir.<sup>5-7</sup>

Egzersizin şiddeti ve süresi, aktive olan kas lif tiplerini belirlemede önemlidir.<sup>8-10</sup> Atın hızının yaklaşık 1-2 m/sn olduğu “adeta yürüyüşü”nde sadece Tip I kas lifleri devrededir. Hızının yaklaşık 3-8 m/sn arasında olduğu süratli ve yavaş gallopta (kenter) Tip IIA, hızının 8 m/sn’yi aştığı hızlı gallop ve sprint koşullarda Tip IIX kas lifleri de devreye girmektedir (Şekil 1).

Egzersizin süresi de kas lif tiplerinin aktive olmasında önemlidir. Çok uzun süren submaksimal egzersizlerde (hız 3-8 m/sn) Tip IIX kas lifleri de en sonunda aktive olmaktadır.<sup>5</sup>



**ŞEKİL 1:** Atların koşu hızına göre aktive olan kas lif tipleri oranları (%).

Egzersiz sırasında iskelet kas liflerinin kasılabilmesi için enerjiye ihtiyaç vardır. İskelet kasında yüksek enerjili fosfat bağlarına sahip adenosin trifosfat (ATP) ve kreatin fosfat (PCr) depo hâlinde bulunmaktadır. Atların kas dokusunda 6 mmol/kg ATP ve 15-20 mmol/kg PCr olduğu gösterilmiştir.<sup>11</sup> Bununla beraber, kaslardaki tüm ATP ve PCr sadece 6-8 sn süreyle maksimum yüklenmeye yetecek miktardadır.<sup>12</sup>

Kas liflerinde depo hâlinde bulunan glikojen ve yağ, aerobik ve anaerobik yolla parçalanarak enerji elde edilmektedir.<sup>6</sup> Anaerobik yolda sadece glikojen ve glukoz sitoplazmada oksijensiz ortamda pirüvik asit ve laktik aside parçalanarak hızlı bir şekilde, fakat az miktarda ATP elde edilmektedir.<sup>13,14</sup>

Aerobik yolda ise yağ, glukoz ve glikojen mitokondri içinde yağların  $\beta$ -oksidasyonu ile glikojen ve glukozun (pirüvik asit yoluyla) krebs döngüsüne katılmasıyla, oksijen kullanılarak parçalanmalarıyla yavaş, fakat çok miktarda ATP elde edilmektedir.<sup>14</sup> Tip II kas lifleri yüksek oranda glikojen içerdiklerinden anaerobik yolla enerji sağlamaktadırlar. Tip I ve Tip IIA kas liflerinde yağ oranı Tip IIX'e göre yüksek olduğundan aerobik yolla enerji sağlamaktadırlar.

Kas lif tiplerindeki bu farklılık, atın hangi spor aktivitesine uygun olacağını belirlemede önemlidir. Dayanıklılığın önemli olduğu endürans yarışlarında aerobik kapasitenin yüksek olduğu Tip I ve Tip IIA kas liflerinin yüksek oranda olması önemli iken, hız ve güç gerektiren kısa mesafe sprint koşullarda, Tip IIX kas liflerinin yüksek oranda olması avantajlıdır.<sup>11</sup> Orta mesafe aktivitelerde ise kas lifinin hızlı kasılması yanında, oksidatif kapasitesinin de yüksek olduğu Tip IIA kas lifleri oranının yüksek olması istenilen bir durumdur.<sup>11</sup>

## İSKELET KAS LİFLERİNİN ORANLARINA ETKİ EDEN FAKTÖRLER

### 1. GENETİK FAKTÖRLER

Atlar doğuştan sprint koşucular olduklarından, insanlarla kıyaslandığında Tip II (Tip IIA ve Tip IIX) liflerinin oranı Tip I liflerinden fazladır.<sup>11</sup> Lif tiplerinin oranları ırk, yaş, cinsiyet, kan hattı gibi genetik faktörlerin etkisi altındadır.<sup>11</sup>

Atlarda iskelet kaslarının çoğunluğu her üç lif tipini de içermesine rağmen, lif tiplerinin oranları kasın anatomik yerleşimi ve fonksiyonuna bağlı olarak değişmektedir. Kuvvet üreten arka bacak kaslarında Tip II (Tip IIA ve Tip IIX) liflerin oranı ön bacaklara göre daha fazladır.<sup>11</sup>

İrklar arasında da lif tipleri oranlarında farklılık vardır. Quarter atlarında Tip I liflerinin oranı %9 iken, İngilizlerde bu oran %11; Arap atlarında ise %14'tür.<sup>15</sup> İrklardaki kas lif oranları detaylı olarak Tablo 2'de görülmektedir. Tablo 2 dikkatle incelendiğinde, Tip IIX oranı çok yüksek olan Quarter atlarının yüksek hız ve güç gerektiren

**TABLO 2:** İrklara göre kas lif tip oranları (%).

	Tip I	Tip IIA	Tip IIX
Quarter	9	51	40
İngiliz	11	57	32
Arap	14	48	38
Standardbred	15	55	27
		Tip II	
		91	
		89	
		86	
		82	

400 m koşullarda yarışması, Arap ve Standardbred atlarında ise Tip I ve Tip IIA kas lifleri yüksek olduğundan daha düşük hız, fakat daha fazla dayanıklılık gerektiren endürans yarışlarında kullanılmasının nedeni görülebilmektedir.

Yapılan bazı çalışmalar, cinsiyetler arasında da farklılıklar olduğunu göstermektedir. Aygırların kırsaklara oranla daha fazla Tip IIA liflerine sahip olması, hem hız hem de dayanıklılık gerektiren aktivitelerde daha başarılı olduklarının göstergesidir.<sup>11</sup> Atlarda lif tiplerinin oranında kan hattına bağlı farklılıkların olacağı da gözönünde bulundurulmalıdır. Özellikle Tip I lifler, Tip II liflere göre kalıtsal olarak yavruya daha çok aktarılmaktadır.<sup>16</sup>

### 2. GENETİK OLMAYAN FAKTÖRLER

Memelilerin çoğunda (kemirgenler hariç) lif sayısı doğuma kadar sabitlenmektedir.<sup>17-19</sup> Doğumdan sonra toplam lif sayısı değişmediği hâlde, tipleri çeşitli sinirsel uyarılar ve antrenmana bağlı olarak değişebilmektedir.<sup>5,19</sup>

İskelet kası atlarda da liflerinin yapısal ve fizyolojik plastisite özelliğinden dolayı antrenmana çok kolay uyum mekanizması geliştirmektedir.<sup>5,8,20,21</sup> Atın genetik özellikleri (ırk, kan hattı, yaş, cinsiyet) ve kondisyon düzeyi ile birlikte uygulanacak antrenman programı da (yüklemenin şiddeti, süresi ve sıklığı) iskelet kasının uyum mekanizmasında çok önemlidir.<sup>5</sup> Yapılan araştırmalarda, iskelet kasının 10-14 gün gibi kısa bir sürede antrenmana uyum sağladığı ve antrenman bırakıldıktan sonra da bu uyumun üç-dört ay devam ettiği bildirilmiştir.<sup>11</sup>

İskelet kas liflerinde antrenman ile meydana gelen uyum mekanizması başlıca iki şekilde sınıflandırılmıştır.<sup>5</sup>

#### a. Kantitatif Uyum

Antrenman ile kas liflerinin sayısında çoğalma (hiperplazi) gerçekleşmemekte, ancak hipertrofi gözükmemektedir. Hipertrofi liflerin yapısında bulunan ve kasılmadan sorumlu miyofibril proteinlerinin (aktin ve miyozin filamanlarının) sayısındaki artış ile şekillenmektedir. Söz konusu artıştan dolayı liflerin çapı, dolayısıyla kasın kesit alanı genişlemektedir.

Atlarda farklı ırklar ve farklı antrenman programlarıyla yapılan sınırlı sayıda çalışma vardır. Rivero ve ark., orta şiddet yüklemelerle yapılan antrenmanlarda Tip IIX kas liflerinin çaplarında azalma, Tip IIA kas liflerinin çaplarında önemli bir artış (hipertrofi) gözlemişlerdir.<sup>9</sup> Tip IIX kas liflerinin çaplarındaki azalmanın bu liflerin Tip IIA dönüşmesinden kaynaklandığı belirtilmiştir.<sup>9</sup> Normal, sedanter atlarda Tip IIA kas liflerinin çapı Tip IIX'e göre küçüktür (Tablo 1). Tip IIA kas lifleri aerobik metabolizmaya da sahip olduklarından çaplarının daha küçük olması oksijenin kolay difüze olması açısından önemlidir. Aynı araştırmacılar, yüklemenin şiddetini artırarak yaptıkları antrenman programında Tip IIX liflerinde de hipertrofi gözlemişlerdir.<sup>9</sup>

#### b. Kalitatif Uyum

Antrenman lif tiplerinin fizyolojik ve metabolik özelliklerini değiştirerek birbirine dönüşümünü sağlamaktadır. Bu şekilde iskelet kasını oluşturan lif tiplerinin oranlarında antrenman öncesine göre değişiklik olmaktadır. Antrenmanlarda uygulanan egzersizin şiddeti ve süresi bu dönüşümde etkilidir. Antrenmanlarda orta şiddet ve uzun süre yüklemeye yapılan atlarda kas liflerinin Tip IIX → Tip IIA → Tip I sırasını izleyerek birbirine dönüştüğü bildirilmiştir. Diğer bir ifadeyle, Tip IIA:Tip IIX ve Tip I:Tip IIA oranlarında artışlar gözükmiştir.<sup>5,22</sup>

Egzersizin süresi uzadıkça (mesafe) liflerinin aerobik kapasitesi arttığı için, atların dayanıklılık

özelligi de artmaktadır. Öte yandan, hız ve güç özelliklerinde düşme meydana gelmektedir. Aerobik kapasite arttığında liflerin oksidatif metabolizmasında görev alan enzimlerin aktivitesinin yükseldiği (örneğin; sitrat sentaz), mitokondri yoğunluğunun ve kapiller damarlaşmanın da arttığı belirtilmiştir.<sup>5,8</sup> Aerobik kapasitenin artmasıyla kaslarda ve kanda laktik asit birikimi gecikmektedir. Ayrıca, kas lifleri metabolizması yağ oksidasyonuna doğru kaymaktadır.<sup>22</sup> Tüm bu değişiklikler, Tip IIA:Tip IIX oranındaki artışın bir göstergesidir. Egzersizin şiddeti yüksek, fakat süresinin kısa olduğu antrenman programlarında ise kas liflerinin anaerobik kapasitesinin arttığı bildirilmiştir. Bu durumda Tip IIX:Tip IIA oranında yükselme gözlemlenmiştir.<sup>22</sup>

## SONUÇLAR VE ÖNERİLER

400-800 m mesafedeki düz yarışlarda atın hız ve güç özellikleri önemli olduğundan, Tip IIX liflerin oranı fazla olan atlar daha başarılı performans gösterebilir. Şiddeti yüksek, fakat süresi (mesafe) kısa anaerobik kapasiteyi artıran antrenman programlarıyla Tip IIA'nın Tip IIX'e dönüşümü sağlanarak ve liflerde hipertrofi oluşturularak daha etkin performans sağlanabilir.

1.000-3.200 m mesafeli düz yarışlarda atın hem dayanıklılık hem de hız ve güç öğeleri performans açısından önemli olduğundan Tip IIA oranının fazla olması istenilen bir durumdur. Orta şiddetli fakat uzun süren (uzun mesafe) yüklemelerle aerobik kapasite artırılarak Tip IIX'in Tip IIA'ya dönüştürülmesi performans gelişimi bakımından istenilen bir durumdur.

20-160 km endürans yarışlarda dayanıklılık öğesi performans değerlendirmede önemli olduğundan, Tip I ve Tip IIA liflerinin oranının fazla olması istenilmektedir. Yavaş-orta şiddette ve çok uzun süren (çok uzun mesafe) yüklemelerle aerobik kapasite artırılarak, Tip IIX → Tip IIA → Tip I şeklinde dönüşüm sağlanarak endürans atlarında performans geliştirilebilir.

## KAYNAKLAR

1. Tulloch LK, Perkins JD, Piercy RJ. Multiple immunofluorescence labelling enables simultaneous identification of all mature fibre types in a single equine skeletal muscle cryosection. *Equine Vet J* 2011;43(4):500-3.
2. Rivero JL, Serrano AL, Barrey E, Valette JP, Jouglin M. Analysis of myosin heavy chains at the protein level in horse skeletal muscle. *J Muscle Res Cell Motil* 1999;20(2):211-21.
3. Rivero JL, Talmadge RJ, Edgerton VR. Myosin heavy chain isoforms in adult equine skeletal muscle: An immunohistochemical and electrophoretic study. *Anat Rec* 1996;246(2):185-94.
4. Markham TCW, Latoorre RM, Lawlor PG, Ashton AJ, McNamara LB, Natter R, et al. Developmental programming of skeletal muscle phenotype/metabolism. *Anim* 2009;3(7):1001-12.
5. Rivero JL. A scientific background for skeletal muscle conditioning in equine practice. *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med* 2007;54(6):321-32.
6. Votion DM, Navet R, Lacombe VA, Sluse F, Essen-Gustavsson B, Hinchcliff KW, et al. Muscle energetics in exercising horse. *Equine and Comparative Exercise Physiology* 2007;4(3-4):105-8.
7. Yamano S, Eto D, Hiraga A, Miyata H. Recruitment pattern of muscle fibre types during high intensity (60-100%VO<sub>2</sub>max) in thoroughbred horses. *Res Vet Sci* 2006;80(1):109-15.
8. Rivero JLL, Ruz A, Marti-Korff S, Lindner A. Contribution of exercise intensity and duration to training-linked myosin transitions in thoroughbreds. *Equine Vet J Suppl* 2006;36:311-5.
9. Rivero JLL, Ruz A, Marti-Korff S, Estepa JC, Aguilera-Tejero E, Werkman J, et al. Effects of intensity and duration of exercise on muscular responses to training of thoroughbred racehorses. *J Appl Physiol* 2007;102(5):1871-82.
10. Eto D, Yamano S, Mukai K, Sugiura T, Nasu T, Tokuriki M, et al. Effect of high intensity training on anaerobic capacity of middle gluteal muscle in Thoroughbred horses. *Res Vet Sci* 2004;76(2):139-44.
11. Marlin D, Nankervis K. Chapter 2: Energetics of exercise. Chapter 3: Muscles. Chapter 7: Muscular responses. *Equine Exercise Physiology*. 1<sup>st</sup> ed. U.K.: Blackwell; 2003. p.7-85.
12. McMiken DF. An energetic basis of equine performance. *Equine Vet J* 1983;15(2):123-33.
13. Waller AP, Lindinger MI. Nutritional aspects of post exercise skeletal muscle glycogen synthesis in horses: a comparative review. *Equine Vet J* 2010;42(3):274-81.
14. Lindner A, Dag Erginsoy S, Kissenbeck S, Mosen H, Hetzel U, Drommer W, et al. Effect of different blood-guided conditioning programmes on skeletal muscle ultrastructure and histochemistry of sport horses. *J Anim Physiol Anim Nutr (Berl)* 2013;97(2):374-86.
15. Snow DH, Guy PS. Fibre type and enzyme activities of gleteus in different breeds of sheep. In: Poortmans JR, Niset G, eds. *Biochemistry of Exercise*. Baltimore: University Park Press; 1981. p.275-82.
16. Rivero JLL, Barrey E. Heritabilities and genetic and phenotypic parameters for gluteus medius muscle fibre type composition, fibre size and capillaries in purebred Spanish horses. *Livest Prod Sci* 2001;72(3):233-41.
17. Zhu MJ, Ford SP, Nathanielsz PW, Du M. Effect of maternal nutrient restriction in sheep on development of fetal skeletal muscle. *Biol Reprod* 2004;71(6):1968-73.
18. Rehfeldt C. Prenatal events that determine the number of muscle fibres are important for lean growth and meat quality in pigs. *Arch Tierz Dummerstorf* 2005;48:11-22.
19. Du M, Tong J, Zhao J, Underwood KR, Zhu M, Ford SP, et al. Fetal programming of skeletal muscle development in ruminant animals. *J Anim Sci* 2010;88(13 Suppl):E51-E60.
20. Serrano AL, Quiroz-Rothe E, Rivero JL. Early and long-term changes of equine skeletal muscle in response to endurance training and detraining. *Pflugers Arch* 2000;441(2-3):263-74.
21. Rivero JLL, Letelier AI. Skeletal muscle profile of show jumpers: physiological and pathological considerations. In: Lindner A, ed. *The Elite Show Jumper, Conference on Equine Sports Medicine and Science*. Dortmund Germany: Lensing Druck; 2000. p.57-76.
22. Valberg SJ. Muscle anatomy, physiology and adaptations to exercise and training. In: Hodgson DR, McKeever KH, McGowan CM, eds. *The Athletic Horse: Principles and Practice of Equine Sports Medicine*. Elsevier Health Sciences. 2<sup>nd</sup> ed. China: Elsevier Saunders; 2013. p.174-201.