

Yarış Atlarında Alfa-Aktininler: Geleneksel Derleme

Alpha-Actinin in Race Horses: Traditional Review

Özge SARAÇ^a, Bengü BİLGİÇ^a, Orhan PINAR^b, Mehmet Erman OR^a

^aİstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, İç Hastalıkları AD, İstanbul, Türkiye

^bİstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veterinerlik Meslek Yüksekokulu, Atçılık ve Antrenörlüğü Programı, İstanbul, Türkiye

ÖZET *ACTN3* geni, iskelet kas fibrillerinde yüksek hızda kasılmayı destekleyen bir protein olan alfa-aktininin 3'ü kodlamaktadır. İnsanlarda yapılan çalışmalarla paralel şekilde atlarda da *ACTN3* gen varyasyonlarının kas tipi, güç, hız ve dayanıklılık özellikleri üzerinde belirleyici olduğu ortaya konmuştur. At yarışlarında başarıyı etkileyen faktörlerin yalnızca bakım ve antrenman gibi çevresel unsurlara bağlı olmadığı; genetik yapının da yarış performansında önemli bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Farklı at ırklarında yapılan çalışmalarla, *ACTN3* geninde gözlemlenen tek nükleotid polimorfizmlerin yarış performansı, güç-kuvvetlilik ve dayanıklılık gibi özelliklerle ilişkili olduğu gösterilmiştir. French Trotter, safkan, Arap, Yili ve Polonya yerel ırkları gibi farklı popülasyonlarda yapılan genetik analizler, ırklar arası performans farklılıklarının altında yatan genetik çeşitliliği ortaya koymuştur. Çalışmalar, özellikle hızlı koşu ve patlayıcı güç gerektiren yarışlarda *ACTN3* geninde belirli alel kombinasyonlarının avantaj sağladığını; buna karşın dayanıklılık gerektiren uzun mesafe yarışlarında farklı genotiplerin öne çıktığını göstermektedir. Ayrıca *ACTN3* ekspresyonunun kas dokusunda egzersize yanıt olarak değişiklik gösterdiği ve bu ekspresyon artışının atletik performansı desteklediği bulunmuştur. Sonuç olarak yarış atlarında *ACTN3* geni ve genetik varyasyonlarının analiz edilmesi, hem yarış performansını optimize etmek hem de uygun seleksiyon stratejileri geliştirmek açısından büyük önem taşımaktadır. Genetik profillemenin, yarış atlarının yetiştiriciliğinde ve performans tahmininde önemli bir araç olabileceği ortaya konmuştur. Bu derlemenin amacı, yarış atlarında alfa-aktininler özellikle *ACTN3* geni ve bu gende meydana gelen tek nükleotid polimorfizmlerinin, atların fiziksel performansı, hız, dayanıklılık ve kuvvet gibi atletik özellikleri üzerindeki etkilerini değerlendirmektir. Ayrıca farklı at ırklarında *ACTN3* gen varyasyonlarının yarış performansı ile ilişkisini ortaya koyarak, genetik analizlerin yarış başarıları ve seleksiyon programları açısından önemine dikkat çekmek hedeflenmiştir.

ABSTRACT The *ACTN3* gene encodes alpha-actinin-3, a protein that supports high-speed contractions in skeletal muscles. In horses, as in humans, *ACTN3* gene variations significantly influence muscle type, strength, speed, and endurance traits. Race performance is shaped not only by environmental factors like care, nutrition, and training but also by genetic structure. Studies across various breeds, including French Trotters, thoroughbreds, Arabian horses, Yili horses, and Polish local breeds, have linked single nucleotide polymorphisms in the *ACTN3* gene to athletic traits such as race performance, power, and endurance. Specific *ACTN3* allele combinations provide advantages in sprint races requiring explosive strength, while different genotypes are associated with success in endurance events. Additionally, *ACTN3* gene expression has been shown to vary with exercise, and increased expression supports improved athletic performance. Understanding *ACTN3* variations is therefore crucial for optimizing racehorse performance and for designing effective selection strategies. Genetic profiling emerges as a valuable tool for breeding programs and for predicting athletic potential. This review aims to evaluate the role of alpha-actinins, particularly *ACTN3* and its single nucleotide polymorphisms, in shaping physical performance characteristics like speed, endurance, and strength in racehorses. By examining the association between *ACTN3* variations and race performance across different horse breeds, the review highlights the importance of genetic analyses for enhancing racing success and guiding selective breeding.

Anahtar Kelimeler: At; gen; *ACTN3*; polimorfizm; yarış performansı

Keywords: Horse; gene; *ACTN3*; polymorphism; racing performance

Correspondence: Özge SARAÇ
İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa, Veteriner Fakültesi, İç Hastalıkları AD, İstanbul, Türkiye
E-mail: ozgevet1@gmail.com

Peer review under responsibility of Türkiye Klinikleri Journal of Veterinary Sciences.

Received: 13 Feb 2025

Received in revised form: 27 Apr 2025

Accepted: 06 May 2025

Available online: 17 Sep 2025

2146-8850 / Copyright © 2025 by Türkiye Klinikleri. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).



İnsanlarda, bireyin sportif performans kalitesini; sahip olduğu disiplin, beslenme, antrenman, motivasyon, istek, uyku gibi çevresel faktörler ile kas fibril boyutları, kas fibril kompozisyonu, elastikiyet, sinir kas koordinasyonu vb. genetik yapı ile doğrudan ilişkili olan faktörlerin birleşimi belirlemektedir.^{1,2} Bu durum da çeşitli spor dallarındaki sporcuların genetik yapıları ile ilgili spor dalındaki başarı oranının araştırılmasını sağlayan “Spor Genetiği” dalını ön plana çıkarmıştır. İnsan Genom Projesi (1990-2003) ile insanlardaki genlerin sayısı, yapısı, gen lokasyonları ile ilgili önemli bilgiler elde edilmiştir. Yapılan çalışmalardan elde edilen sonuçlara göre genlerin metabolizmadaki rolü, olası mutasyonlarda şekillenebilen anomaliler ve genler ile bağlantılı oluşabilecek hastalıklara yatkınlıkların analizi yapılabilmektedir.^{3,4} İnsanlarda genler ve sportif performans ilişkisinin araştırıldığı bir çalışmada; *ACTN3*, *ACE*, *ADRB2*, *IL6*, *NOS3*, *SOD2* gibi genler ve toplam sporcu sayısı incelenmiş; *ACE*, *ACTN*, *PPARGC1A*, *ADR2A*, *Gly482*, *IL15RA* gibi genler ile güç/kuvvet performansı ilişkisi ortaya konmuştur.⁵ Bu derlemede, insanlardaki genetik faktörlerin sportif performans üzerindeki etkilerine dair bulgular ışığında, *ACTN3* gen polimorfizminin çeşitli at ırklarında yarış performansı, güç ve dayanıklılık gibi faktörler üzerindeki potansiyel etkilerinin değerlendirilmesi amaçlanmıştır.

ACTN3 GENİ, POLİMORFİZMİ VE KAS PERFORMANSI İLİŞKİSİ

Aktin proteinleri alfa, beta, gama olmak üzere 3 gruba ayrılmaktadır. Alfa-aktininler, iskelet kas fibrillerinde Z çizgileri üzerinde bulunan önemli bir protein bileşenidir; insanlarda *ACTN2* ve *ACTN3* genleri tarafından kodlanmaktadır. Tüm iskelet kas fibrillerinde *ACTN2* ekspresyonu görülürken; *ACTN3*, yalnızca hızlı kasılan kas fibrillerinde eksprese olmaktadır.¹ Bu nedenle *ACTN3*, yüksek hızda kasılma gerektiren kas yapıları ve güç sporları ile ilişkili araştırmalarda belirleyici bir faktör olarak öne çıkmaktadır. *ACTN3* proteini, 11. kromozom üzerindeki 11q13-q14 bölgesinde yer alan *ACTN3* geni tarafından üretilmekte olup, bu bölgede meydana gelen genetik değişimlerin kas yapısının özelliklerini etkilediği bildirilmektedir.⁶

Genetik varyasyonları, bireylerin yatkın oldukları spor dallarında farklılıklara yol açabilmektedir. *ACTN3* geni, R (fonksiyonel) ve X (fonksiyon kaybı) olmak üzere 2 farklı alel formunda bulunur. Yapılan çalışmalarda, R alelinin yüksek kas kasılma gücüyle; X alelinin ise dayanıklılık performansı ile pozitif ilişki gösterdiği belirlenmiştir. Genotip düzeyinde, RR (hızlı kasılan kas lifi b), RX (hızlı kasılan kas lifi a) ve XX (yavaş kasılan kas lifi) olmak üzere 3 kategori tanımlanmaktadır.⁶

ACTN3 geninin 16. ekzonunda, 77. pozisyonunda meydana gelen C1729T mutasyonu sonucunda, normalde bulunması gereken sitozin (C) bazının yerine timin (T) bazı gelmekte ve bu değişim C-T transizyonu/c.577C>T (R577X) olarak adlandırılmaktadır. Bu mutasyon, *ACTN3* üretimini azaltmakta; ancak *ACTN2* geninin telafi edici etkisi sayesinde musküler distrofi gibi patolojik durumlara yol açmamaktadır.^{6,7}

Hücre çekirdeğinde bulunan genler, anneden ve babadan gelen kopyalar hâlinde kalıtılır. Bu nedenle *ACTN3* mutasyonu, bireylerde 3 farklı formda gözlemlenmektedir: (1) Homozigot normal (CC/RR): Her iki *ACTN3* gen kopyası normaldir, yüksek kuvvet, yüksek hız, patlayıcı güç özellikleri ile düşük dayanıklılık gözlenir; (2) Heterozigot değişim (CT/RX): *ACTN3* geninin bir kopyasında mutasyon bulunur ve birey yüksek hız ve patlayıcı güç hem de artmış dayanıklılık özellikleri gösterir; (3) Homozigot değişim (TT/XX): Her iki *ACTN3* gen kopyası mutasyona uğramıştır, yüksek dayanıklılık ile birlikte düşük hız ve düşük patlayıcı güç performansı sergilenir.^{6,7}

ACTN3 POLİMORFİZMİ VE SPORİF PERFORMANS ÜZERİNE ÇALIŞMALAR

ACTN3 R577X polimorfizmi ile sportif performans arasındaki ilişkiyi inceleyen çalışmalarda da yüzücüler, atletler, judocular gibi farklı branşlardan sporcu gruplarında hem *ACTN3* hem de diğer spor genetiği ile ilişkili genlerin dağılımı araştırılmıştır.⁸ İnsanlarda yapılan bir çalışmada, 139 maratoncu üzerinde bir takip sürecinde *ACTN3* genotipleme yapılmış; RR, RX ve XX genotip frekansları sırasıyla

%28,8, %42,8 ve %23,5 olarak bulunmuştur. Araştırma sonucunda, XX genotipine sahip maratoncularda kas tipi yaralanmaların, RR ve RX genotiplerine sahip bireylere kıyasla daha fazla olduğu; ani gelişen kas yaralanması riskinin XX genotipli atletlerde, RR genotiplilere göre 2 kat daha yüksek olduğu belirlenmiştir.⁹

Profesyonel monopalet üzerine yapılan başka bir çalışmada, *ACTN3* R577X (rs1815739) polimorfizminin boy ve kilo ile ilişkisi incelenmiş; 2'si kadın 7'si erkek olmak üzere toplam 9 sporcudan elde edilen sonuçlara göre RR genotipi daha kısa boylu ve daha zayıf sporcularda, RX genotipi ise daha uzun boylu ve kilolu sporcularda daha sık gözlemlenmiştir.¹⁰

Türkiye'de 40 profesyonel futbolcu üzerinde gerçekleştirilen başka bir çalışmada, *ACTN3* R577X genotip dağılımı değerlendirilmiş ve 19 futbolcuda RR (%47,5), 15 futbolcuda RX (%37,5) ve 6 futbolcuda XX (%15) genotipleri tespit edilmiştir. Alel frekansları açısından R aleli %66,25, X aleli %33,75 olarak bulunmuş; bu sonuçlar, patlayıcı güç fenotipi ile ilişkilendirilen RR genotipinin baskın olduğunu göstermiştir.¹¹

Uluslararası bir çalışmada Brezilya, Jamaika, Yunanistan, İtalya, Litvanya, Polonya, Rusya, İspanya, Amerika'dan 555 sprinter üzerinde yapılan analizler sonucunda erkek Kafkas sprinterlerde *ACTN3* R577 RR genotipine sahip olanların, *ACTN3* XX genotipine sahip olanlara göre 200 m sprint yarışlarında daha iyi dereceler elde ettiği rapor edilmiştir.¹²

Ege Bölgesi'nde farklı spor branşlarında (tenis, futbol, judo, tekvando, güreş, basketbol, voleybol, futbol, bisiklet) aktif olarak yer alan 105 sporcu üzerinde yapılan bir çalışmada da *ACTN3* R577X analizleri gerçekleştirilmiş ve çalışma sonucunda RR ve RX genotip dağılımlarının elit sporcularda, sedanter bireylere göre önemli düzeyde farklı olduğu bildirilmiştir.⁷

AT IRKLARINDA *ACTN3* POLİMORFİZMİNİN ATLETİK PERFORMANS İLE İLİŞKİSİ: FARKLI COĞRAFYALARDAN BULGULAR

Tarih boyunca popülerliğini koruyan at yarışlarında, atların fizyolojik ve anatomik özelliklerinin sportif

performansları üzerindeki etkileri uzun süredir bilinmektedir. Bir atın yarış kabiliyetinde bakım, besleme ve eğitim gibi çevresel faktörler önemli bir rol oynasa da ırklar arasındaki performans farklılıklarının büyük ölçüde kalıtsal temellere dayandığı kabul edilmektedir. Bu durum, atların genetik yapısının sportif performansla ilişkisini incelemeye yönelik araştırmaların önemini artırmıştır.¹³

French Trotter, French Saddlebred, safkan ve Cob Normand ırklarına ait 15 at üzerinde yürütülen bir çalışmada, 4 *ACTN3* geninin yapısı, ekspirasyon düzeyi ve polimorfizmleri araştırılmıştır. Çalışmada gluteus medius, masseter ve platysma gibi 3 iskelet kası ile kalp, akciğer, dalak ve böbrek dokularından örnekler toplanmış ve bu örneklerin genomik yapıları gerçek zamanlı polimeraz zincir reaksiyonu yöntemiyle analiz edilmiştir. *ACTN3* tamamlayıcı deoksiribonükleik asidinin 3,47 kb uzunluğunda, 902 aminoasit içeren 2.709 nükleotid diziliminden oluştuğu, ayrıca insan, fare, köpek, sığır, maymun ve tavşan gibi memelilerle %89 oranında benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir. Atların *ACTN3* genomik yapısının en fazla köpeklerle, ardından sırasıyla sığır, tavşan, insan, maymun ve fare ile benzerlik gösterdiği belirlenmiştir. *ACTN3* gen ekspirasyonu incelendiğinde gluteus medius ve platysma kaslarında diğer dokulara kıyasla daha yüksek düzeyde ekspresyon saptanmıştır.¹⁴ Avustralya'da yapılan bir çalışmada ise safkan Arap, standart, Shire ve Clydesdale ırklarından 75 at üzerinde *ACTN3* gen sekans analizi gerçekleştirilmiştir. Atlar, atletik özelliklerine göre gruplandırılmıştır: kısa mesafe ve yüksek hız kabiliyetiyle safkanlar (1. grup), uzun mesafelerde dayanıklılığıyla bilinen Arap atları (2. grup), standart yürüyüş ırkı atlar (3. grup) ve kuvvet gerektiren işlerde kullanılan Shire ve Clydesdale ırkları (4. grup). Yapılan genetik analizlerde, safkan atlarda *ACTN3* gen diziliminde 1.104. pozisyonunda AA homozigot aleline rastlanmamış, bu alelin hız performansı için negatif bir etki oluşturabileceği düşünülmüştür. Arap ve safkan atlarda G aleli daha yüksek oranda bulunurken, kuvvet özellikleri ön planda olan Shire ve Clydesdale atlarında GG homozigot aleline rastlanmamıştır.

Polonya'da farklı kullanım amaçlarına sahip 877 attan alınan kan ve kıl folikül örnekleri üzerinde

yapılan çalışmada, *ACTN3* gen polimorfizminin atletizm ile ilişkisi araştırılmıştır. İlkel Polonya Konik atları, Karpat midillileri, soğukkanlı Polonya atları, Arap atları ve safkan atlar çalışmaya dâhil edilmiştir. G aleli, Polonya midillilerinde %20, Karpat midillilerinde %17 ve soğukkanlı Polonya atlarında %36 oranında düşük bulunmuştur. Buna karşılık safkan atlarda %60, Arap atlarında ise %74 oranında G aleli saptanmıştır. Ayrıca C ve T polimorfizmleri de analiz edilmiş; T alelinin atletizm ve koşu performansıyla; C alelinin ise dayanıklılık ve güç özellikleriyle ilişkili olduğu bildirilmiştir.

Bir diğer çalışmada, 15 safkan Arap atı üzerinde 1.500 m ve 5.000 m gibi farklı parkur uzunluklarında uygulanan egzersiz programları sonrası gluteus medius kaslarından alınan biyopsi örneklerinde *ACTN3* gen ekspresyonu analiz edilmiştir. Egzersiz sonrası, kas dokularında *ACTN3* gen ekspresyonunda anlamlı bir artış gözlenmiştir.¹⁷

Çin’de yarış sektöründe önemli yere sahip Yili atlarında yapılan çalışmada, *ACTN3* geninde olası tek nükleotid polimorfizmleri ve bunların yarış performansına etkisi incelenmiştir. Toplam 38 atın kan örnekleri üzerinde yapılan polimeraz zincir reaksiyonu ve sekanslama çalışmaları sonucunda, *ACTH* geninde belirlenen polimorfizmlerin atletik performans üzerinde anlamlı bir etkisinin bulunmadığı rapor edilmiştir.¹⁸

Irak’ta yürütülen bir çalışmada ise Arap atları, yerel ırkları ve safkan atlardan oluşan 126 bireyin *ACTN3* geninin 19. ekzonu üzerinde genetik analizler yapılmıştır. Çalışma sonucunda, 5 farklı tek nükleotid polimorfizmi tespit edilmiş ve *ACTN3* geninin performans belirteci olarak değerlendirilebileceği ifade edilmiştir.¹⁹

Son olarak Kore’ye özgü Jeju atlarının genetik yapısını inceleyen bir çalışmada, Jeju atlarının *ACTN2*, *LCORL*, *HMG2*, *ZFAT*, *PDK4*, *CASP1* ve *MSTN* genleri Moğol yaban atları ile karşılaştırılarak analiz edilmiştir. Çalışmada, 21 milyon üzerinde tek nükleotid polimorfizmi kaydedilmiş ve Jeju

atlarının, Moğol yaban atlarıyla genetik benzerlikler taşıdığı, ancak doğrudan bir soy ilişkisi bulunmadığı sonucuna varılmıştır.²⁰

SONUÇ

Sonuç olarak yapılan çalışmalar, *ACTN3* geni ve genetik zincirinde meydana gelen tek nükleotid polimorfizmlerinin farklı at ırklarında önemli bir role sahip olduğunu ortaya koymuştur. Bu genetik varyasyonların, yarış atlarının ırk ve genetik profillerine bağlı olarak yarış performansı, güç, kuvvetlilik ve dayanıklılık gibi özelliklere katkı sağladığı belirlenmiştir. Ayrıca koşu performansı açısından genetik analizlerin yapılmasının, yarış başarısı ve ekonomik kazanç açısından kritik bir öneme sahip olabileceği vurgulanmıştır.

Finansal Kaynak

Bu çalışma sırasında, yapılan araştırma konusu ile ilgili doğrudan bağlantısı bulunan herhangi bir ilaç firmasından, tıbbi alet, gereç ve malzeme sağlayan ve/veya üreten bir firma veya herhangi bir ticari firmadan, çalışmanın değerlendirme sürecinde, çalışma ile ilgili verilecek kararı olumsuz etkileyebilecek maddi ve/veya manevi herhangi bir destek alınmamıştır.

Çıkar Çatışması

Bu çalışma ile ilgili olarak yazarların ve/veya aile bireylerinin çıkar çatışması potansiyeli olabilecek bilimsel ve tıbbi komite üyeliği veya üyeleri ile ilişkisi, danışmanlık, bilirkişilik, herhangi bir firmada çalışma durumu, hissedarlık ve benzer durumları yoktur.

Yazar Katkıları

Fikir/Kavram: Mehmet Erman Or, Özge Saraç; **Tasarım:** Orhan Pınar, Bengü Bilgiç; **Denetleme/Danışmanlık:** Mehmet Erman Or, Özge Saraç, Orhan Pınar, Bengü Bilgiç; **Veri Toplama ve/veya İşleme:** Özge Saraç, Orhan Pınar, Bengü Bilgiç; **Analiz ve/veya Yorum:** Mehmet Erman Or, Özge Saraç, Orhan Pınar; **Kaynak Taraması:** Mehmet Erman Or, Özge Saraç, Orhan Pınar, Bengü Bilgiç; **Makalenin Yazımı:** Özge Saraç, Bengü Bilgiç; **Eleştirel İnceleme:** Mehmet Erman Or, Özge Saraç, Orhan Pınar, Bengü Bilgiç.

KAYNAKLAR

- Subak GE, Şahin Özdemir FN, Müniroğlu RS. Sporcuların başarısında genetik faktörlerin önemi. *Spormetre*. 2017;15(3):109-18. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/600228>
- Ulucan K. Need for sports genetics. *J Investig Genomics*. 2015;2(1):43. DOI:10.15406/jig.2015.02.00021
- Bouchard C, Dionne FT, Simoneau JA, Boulay MR. Genetics of aerobic and anaerobic performances. *Exerc Sport Sci Rev*. 1992;20:27-58. PMID: 1623888
- Ulucan K, Topal ES, Aksulu BK, Yaman B, Çiftçi İC, Bıyıklı T. Atletik performans, genetik ve gen doping [Atletic performance, genetics and gene doping]. *İKSST Derg*. 2015;7(2):58-62. doi:10.5222/iksst.2015.058
- Ahmetov II, Fedotovskaya ON. Current progress in sports genomics. *Adv Clin Chem*. 2015;70:247-314. PMID: 26231489
- Bulğay C, Çetin E, Orhan Ö, Ergün MA. Koşucularda ACTN3 ve ACE genlerinin sportif performansa etkisi [The effects of the ACTN3 and ACE genes on the sportive performance of athletes]. *IUJPESS*. 2020;7(1):1-12. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/1283753>
- Şanlısoy F, Altıntaş N, Büyükyazı G, Candan N. Ege bölgesi elit sporcularının ACTN3 R577X genotip dağılımının araştırılması [Investigation of ACTN3 R577X genotype distribution of elite athletes in the Aegean region]. *Cumhuriyet Med J*. 2011;33:153-9. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/47802>
- Zilberman-Schapira G, Chen J, Gerstein M. On sports and genes. *Recent Pat DNA Gene Seq*. 2012;6(3):180-8. PMID: 22762737
- Moreno V, Areces F, Ruiz-Vicente D, Ordovás JM, Del Coso J. Influence of the ACTN3 R577X genotype on the injury epidemiology of marathon runners. *PLoS One*. 2020;15(1):e0227548. PMID: 31990958; PMCID: PMC6986710
- Kavas NC, Yüksel İ, Sercan C, Kapıcı S, Tuna G, Ulucan K. Profesyonel monopalet sporcularında alfa-aktinin-3 (ACTN3) R577X (rs1815739) polimorfizminin dağılımı ve boy-kilo ilişkisi [Distribution of polymorphism and size-weight relation of alfa-actinin-3 (ACTN3) R577X (rs1815739) in professional monopalet players]. *ERISS*. 2018;3(1):26-31. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/509685>
- Mutlucan H, Bıyıklı T, Eken FB, Sercan C, Kapıcı S, Ulucan K. Türk profesyonel futbolcularda alfa-aktinin-3N R577 X polimorfizminin incelenmesi [Analysis of alpha-actinin-3 R577X polymorphism in Turkish professional football players]. *Marmara University Journal of Sport Science*. 2017;2(2):1-7. <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/433993>
- Papadimitriou ID, Lucia A, Pitsiladis YP, Pushkarev VP, Dyatlov DA, Orekhov EF, et al. ACTN3 R577X and ACE I/D gene variants influence performance in elite sprinters: a multi-cohort study. *BMC Genomics*. 2016;17:285. <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-2462-3>
- Wilkin T, Baoutina A, Hamilton N. Equine performance genes and the future of doping in horseracing. *Drug Test Anal*. 2017;9(9):1456-71. PMID: 28349656
- Mata X, Vaiman A, Ducasse A, Diribarne M, Schibler L, Guérin G. Genomic structure, polymorphism and expression of the horse alpha-actinin-3 gene. *Gene*. 2012;491(1):20-4. PMID: 21979116
- Thomas KC, Hamilton NA, North KN, Houweling PJ. Sequence analysis of the equine ACTN3 gene in Australian horse breeds. *Gene*. 2014;538(1):88-93. PMID: 24440781
- Musiał AD, Ropka-Molik K, Piórkowska K, Jaworska J, Stefaniuk-Szmukier M. ACTN3 genotype distribution across horses representing different utility types and breeds. *Mol Biol Rep*. 2019;46(6):5795-803. PMID: 31392535
- Ropka-Molik K, Stefaniuk-Szmukier M, Musiał AD, Piórkowska K, Szmatoła T. Sequence analysis and expression profiling of the equine ACTN3 gene during exercise in Arabian horses. *Gene*. 2019;685:149-55. PMID: 30389559
- Wang J, Meng J, Wang X, Zeng Y, Li L, Xin Y, et al. Analysis of ACTN3 gene polymorphisms in Yili horses. *J Equine Vet Sci*. 2018;70:101-6. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0737080618305082>
- Turki WZ, Al-Anbari NN. Genetic diversity in original Arabian-WAHO, local and thoroughbred horses in Iraq from ACTN3-EXON 19 gene polymorphism. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2023. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1214/1/012033>
- Srikanth K, Kim NY, Park W, Kim JM, Kim KD, Lee KT, et al. Comprehensive genome and transcriptome analyses reveal genetic relationship, selection signature, and transcriptome landscape of small-sized Korean native Jeju horse. *Sci Rep*. 2019;9(1):16672. Erratum in: *Sci Rep*. 2020;10(1):18383. PMID: 31723199; PMCID: PMC6853925