

Innovatív genomikai és élettani kutatások az angol telivér állomány versenyteljesítményének fokozása érdekében

Kis Judit*, Mezőszentgyörgyi Dávid, Zsolnai Attila, Rózsa László,
Husvéth Ferenc, Anton István

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Gödöllő, Magyarország

*Levelező szerző. E-mail: kis.judit@uni-mate.hu

Beérkezett: 2022. augusztus 31.; Elfogadva: 2022. november 14.; Online megjelent: 2022. december 6.

Összefoglalás

Célkitűzés: Miosztatin (MSTN) genotípusok összefüggés-vizsgálata izomfejlődéssel és cardiovascularis paraméterekkel angol telivérekben.

Módszer: Három, MSTN-genotipizált csoportban echokardiográfiát és izomultrahangot végeztünk. Adatainkat SPSS 15.0 szoftverrel elemeztük.

Eredmények: A C/C csoport mért izomvastagságai 22,08 ($p = 0,004$) és 12,24 ($p < 0,001$) %-kal; a cardiovascularis rendszeré 6,33 ($p = 0,015$), 6,03 ($p = 0,011$) és 6,72 ($p = 0,014$) %-kal magasabb volt, mint a T/T genotípusnál. Pearson-féle R: anconeus pólyahossz $r = 0,460$; triceps $r = 0,590$; aorta Valsalva-öböl diasztolé $r = 0,423$, szisztolé $r = 0,450$, billentyűk síkjában szisztolé $r = 0,462$.

Következtetések: Az eredmények hozzájárulnak a galopplovak hatékony tréningmódszereinek kidolgozásához, így jelentősen befolyásolható eredményességük.

Kulcsszavak: miosztatin, angol telivér, molekuláris genetika, ultrahang, izomzat

Innovative genomic and physiological studies to improve the competitive performance of Thoroughbreds

Judit Kis*, Dávid Mezőszentgyörgyi, Attila Zsolnai, László Rózsa,
Ferenc Husvéth, István Anton

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Gödöllő, Hungary

Summary

Background: The myostatin gene (MSTN; g.66493737) C/T polymorphism has great influence on the development of the muscles and the rates between the types of muscle fibers as well as cardiovascular performance in thoroughbred horses. Consequently MSTN gene decisively determines the optimal race distance and racing ability in thoroughbreds through the muscle development regulation. A more detailed understanding of these genetic attributions and their associations leads us to be able to maximise the athletic potential of thoroughbreds.

Objective: In this paper the relationships were investigated between the MSTN genotypes and muscle development or the main cardiovascular parameters which affect or define the cardiac performance of thoroughbreds.

Methods: Ultrasonography and echocardiography was performed on each individual selected for our study. Sixty-six thoroughbreds were applied in each measurement (22 of each genotype, C/C, C/T and T/T). All of them participated at different races or were trained at the same time in Hungary. A portable MyLab™ ultrasound system (Alfa-Vet, Animal Healthcare Ltd.) was used for the measurements. To investigate the development of the candidate

muscles the size of the anconeus and triceps brachii muscles were used as indicators. The length of the mentioned muscles was given by the size of the total length of the muscle fascia (m. fasciae anconeus and m. fasciae triceps brachii). Thickness was measured at the largest anatomical diameter of the muscles. To characterize the cardiovascular system, the diameter of the Valsalva sinus of the aorta was measured at the end of diastole and systole, respectively, as well as the diameter of the aorta in the plane of the semilunar valves. The data were analyzed with the SPSS 15.0 for Windows software. Homogeneity of variance between groups was checked with Levene's test and multivariate analysis of variance was used to determine the correlations between the measured variables and the myostatin genotypes.

Results: According to our measurements relationship was detected between individual myostatin genotypes, muscular development and cardiovascular parameters of the thoroughbreds. The muscle thickness and fascicle length of group C/C of MSTN showed significant differences compared to group T/T. Aortic diameter at the sinus of Valsalva (end-diastole and end-systole) and aortic diameter at the valve (end-systole) also indicated significant differences between C/C and T/T genotypes too. The thickness of the two muscles (anconeus and triceps brachii) in the group C/C was 2.08 ($p=0.004$) and 12.24 ($p<0.001$) % higher; and of the parameters of cardiovascular system were 6.33 ($p=0.015$), 6.03 ($p=0.011$) and 6.72 ($p=0.014$) % greater, respectively, than in the T/T genotypes.

Conclusions: The results contribute to a better understanding of the effects of MSTN genetic variations on phenotypes, which help to develop new, effective training methods for racehorses in order to prepare them for their best race distance according to their genotypes. Thus, the competitive performance and racing ability of thoroughbreds can be improved significantly.

Keywords: myostatin, thoroughbred, molecular genetics, ultrasound, muscle

Előszó

A rendszerváltást követő doktori iskolákban folyó PhD-képzésben részt vevő hallgatók jelentős hányada elsősorban az egyetemek és más kutatóintézetek fiataljaiból kerültek ki. Ez a tény az elméleti kutatóhelyek és a gyakorlat (vállalati szféra) elkülönülésével járt, így a kutatások kevésbé szolgálták a gyakorlat igényeit. Az Innovációs és Technológiai Minisztérium által indított (Kooperatív Doktori Program, KDP) egyik fő célja éppen ezen elkülönülésnek a tompítását célozta meg, mivel a program egyik fő célja az egyetemi és kutatóintézetekben folyó doktori kutatásokat a gyakorlat igényei szerint szervezi finanszírozni, támogatva a doktori iskolákban folyó képzést, a kutatóintézetek és a vállalati szektor kooperációját. A KDP-ösztöndíj ugyanakkor jelentős anyagi támogatást nyújt a tehetséges doktorandusz hallgatók, a témavezetőjük és a vállalati szakértők munkájának megbecsüléséhez, nemkülönben a kutatások támogatásához és azok eredményeinek közzétételéhez.

Kis Judit és munkacsoportja kutatásaiban a hazai angol telivérek versenyteljesítményének javításához kíván jelentős segítséget nyújtani. A miosztatint érintő genomikai kutatásai segítségével nagy segítséget nyújt az idomároknak a helyes versenytáv megválasztásához, amelyen egy telivér a legnagyobb eséllyel indulhat a versenyeken. Munkájával segíti a trénereket olyan genomikai és élettani összefüggések feltárásában, amelyek segítségével olyan tudományosan megalapozott és egyedekre szabott tréning módszereket alkalmazhatnak, amelyek segítségével a telivérek versenyteljesítménye jelentősen fokozható. Folyamatosan kapcsolatot tartva hazai idomárokkal, a doktorandusz hallgató hasznos ismereteket nyújt a hazai telivér-állomány tudományos eredményekre alapozott tréning módszereinek alkalmazásához.

dr. Husvéth Ferenc DSc,
professor emeritus, doktori témavezető

Az Innovációs és Technológiai Minisztérium által indított Kooperatív Doktori Program kitűnő lehetőséget biztosít a tehetséges és elkötelezett hazai fiatalok kutatói munkájának támogatására, illetve tudományos eredményeik gyakorlati hasznosítására.

Kis Judit ösztöndíjas PhD-hallgató kutatásai a hazai angol telivérek versenyteljesítményének fokozását szolgálják, és ehhez innovatív genomikai és élettani kutatásokat végez. A kutatási program célja olyan eltérő tréning módszerek kidolgozása, melyek egyedre, illetve genotípusra szabottan, különböző versenytávokon futó telivérek esetében is alkalmazhatók. A genetikai adatok és az élettani, illetve etológiai eredmények közötti kapcsolatokat vizsgálatával egy komplex, szelekcióra is alkalmas rendszer kiépítésére lesz lehetőség. A kutatás eredményei remélhetőleg javítani fogják a hazai angol telivérek versenyteljesítményét, nemzetközi viszonylatban is jelentős szintre emelve azt.

A laboratóriumi vizsgálatok a NAIK Állattenyésztési, Takarmányozási és Húsipari Kutatóintézetében kezdődtek, amelynek jogelődjét 1896-ban alapították a magyar mezőgazdaság versenyképességének javítására. A molekuláris genetikai kutatócsoport az elmúlt évtizedekben a nagytestű háziállatok hazai kutatásának megkerülhetetlen szereplőjévé vált, számos vizsgálati módszert fejlesztett ki egyes genetikai betegségek azonosítására, illetve a genetikai markerekre alapozott hazai szelekciós állattenyésztés megteremtésére.

dr. Anton István DSc,
tudományos tanácsadó, vállalati szakértő

Bevezetés

Az ember által irányított, tudatos szelekció napjainkra 400-500 különböző lófajta kialakulását eredményezte. A tenyésztés során figyelembe vették a különböző, telje-

sítményt meghatározó tulajdonságokat (gyorsaság, állóképesség, húzóerő, kitartás), a küllemet befolyásoló tényezőket (méret, szín, testfelépítés) és a temperamentumot (Petersen et al. 2013). Az egyik háziasított lófajtánál, az angol telivérnél, a XVIII. század óta a gyorsaságon és a kitartáson volt a szelekciós fókuszpont, ennek eredményeként megjelenésüket tekintve igen heterogén a ma élő állomány a fajtán belül is. A fentebb említett tulajdonságok extrém szelekciója olyan atletikus fenotípust eredményezett (Poole 2004), amely nagy aerob és anaerob kapacitással (Young et al. 2002), és a testtömeghez képest kiemelkedő vázizomtömeggel (>55%) rendelkezik (Gunn 1987). Az angol telivér kiváló fajta a lóversenyezéshez, illetve értékes modell az élettani reakciók tanulmányozásához is a különböző tréning módszerek alkalmazása esetén. Egy korábbi tanulmány kimutatta, hogy a telivéreknél végzett gyakorlatok összehangolt változásokat eredményeztek az anyagcserével, az oxidatív foszforilációval és az izomszerkezettel kapcsolatos gének expressziójában (McGivney et al. 2010). A háziasítás fokozatos változásokhoz vezetett genetikai szinten is a szelekciós folyamat révén. A természetes szelekció és az ember által irányított szelektív tenyésztés együttes hatása miatt genetikai mutációval összefüggő fenotípusos változások kísérik a háziasítási folyamatot (Andersson 2012). A tréning és takarmányozás mellett az öröklődő genetikai háttér döntő mértékben befolyásolja a kiemelkedő képességű versenylovak atletikus képességeit (Gaffney-Cunningham 1988). A telivérek esetében a versenyteljesítményt és az optimális versenytávra való alkalmasságot (BRD; Best Race Distance) több gén is befolyásolja. Ezek között kiemelkedő szerepe van a miosztatinnak (MSTN) és a piruvat-dehidrogenáz kináz izoenzim-4-nek (PDK4) (Hill et al. 2010a; Hill et al. 2010b).

A transzformáló növekedési faktor β szuperfamilia tagja az MSTN gén (g.66493737C/T), melyet Hill et al. (2010a) fedeztek fel elsőként az angol telivér fajtában. Jelentős hatással van a testösszetételre, az izomrostok összetételére és az optimális versenytávra is. A gén erősen konzervált emlősfajokban; három exont és két intront tartalmaz. Az MSTN gén exonja egy 375 aminosavból álló fehérjét kódol, amely jelentős poszttranszlációs változáson megy keresztül, hogy biológiailag aktívvá váljon (Wolfman et al. 2003). Az MSTN gén a miogenezis negatív regulátoraként ismert (Mosher et al. 2007), már a prenatális időszakban befolyásolja az izomprekursor proliferációt és a mioblast proliferációt, differenciációt (Aiello-Patel-Lasagna 2018). Az MSTN egypontos nukleotid polimorfizmusa (SNP) három genotípust eredményez. A C/C genotípusú lovak a sprinterek. Jellemzőjük a koraérés, nagy végsebesség, robbanékonyság és más genotípusokhoz képest a nagyobb izomtömeg. A C/C genotípusnál a IIB típusú, úgynevezett fehér vagy gyors izomrostok gyakrabban fordulnak elő, ezek jellemzője az anaerob kontrakció, gyors összehúzódás és gyors kifáradás. A T/T genotípusú egyedek a „stayerek”, nagy állóképességűek, karcsúbb testfelépítésűek és általá-

ban később érők, mint a sprinterek. A vörös izomrostok (I típusú) dominálnak a hosszútávú egyedeknél, amelyek kitartó, hosszú munkára képesek. A C/T genotípusú „milerek” az előző genotípuscsoportok keverékei (Hill et al. 2010b). Azon galopplovaknál, melyek a sprintversenyeket (<1400 m) és a nagyobb sebességet részesítik előnyben, kétszer gyakoribb a C allél, mint azoknál a lovaknál, amelyek a hosszabb távokat preferálják (Hill et al. 2010b). A miosztatinnal génpolimorfizmusok szintén erős korrelációt mutatnak a sebességindexekkel (Hill et al. 2012). A kiemelkedő teljesítményhez szükséges, hogy a légzőkészülék, a szív- és érrendszer és az izomrendszer is maximális teljesítménnyel működjön (Hinchcliff-Geor-Kaneps 2008). Az oxigénzállítást a tüdőből az izmokig a szív- és érrendszer végzi. A szív mérete a teljesítmény szempontjából döntő fontosságú a telivérek atletikus potenciáljában (Potard-Leith-Fedde 1998). Ennek megfelelően jelentős kapcsolat fedezhető fel a genotípusok és a már említett tulajdonságok között.

Az ultrahangvizsgálat (UH) pontos anatómiai kiértékelést biztosít, amely feltárja a szervek és izomrostok szerkezetét, valamint az izomméretben vagy izomformákban bekövetkezett változásokat (Lindner et al. 2010). Az izomvastagság ultrahangos mérések reprodukálhatóságával kapcsolatban Lindner et al. (2010) arra következtetése jutottak, hogy a vizsgálat szinte minden esetben jól alkalmazható.

Annak ellenére, hogy az ultrahangos vizsgálat viszonylag olcsó és a legtöbb szakember számára könnyen alkalmazható, a módszert még nem használták széles körben angol telivéreknél az izmok méretének meghatározására. Az ultrahangos technikák (echokardiográfia) fejlődése azonban lehetővé tette a szívszerkezetek jobb képalkotását. Ezzel a pontos, nem invazív módszerrel szignifikáns összefüggést mutattak ki a kamrai tömeg és az oxigénfelvétel/aerob kapacitás (VO_{2max}) aránya között versenylovakban (Young et al. 2002; Young-Rogers-Wood 2005). A perctérfogat növekedése fokozza az izomzat O_2 -ellátását tréningmunka közben, és meghatározhatja a VO_{2max} -ot. (Young 2003). A telivérek izomtömege más lófajtákénál nagyobb (Gunn 1987). A rostok hossza és szerkezete jelentősen befolyásolja az izmok teljesítményét és reakciósebességét (Savelberg-Schamhardt 1997). A mellső és hátsó végtagok eltérően működnek, mivel munkanövelésre, illetve erőtermelésre specializálódtak (Brown et al. 2003; Payne-Veenman-Wilson 2005).

Munkánk célja az volt, hogy az MSTN genotípusok egyedi meghatározását követően ultrahanggal értékeljük az MSTN genotípusok izom- és kardiovaszkuláris paramétereire gyakorolt hatását angol telivérekben.

Vizsgálati anyag és módszer

A magyarországi angol telivér populációból százharminc vérmintát gyűjtöttünk a v. jugularisból, lovanként kb. 2 ml mennyiségben, amiket 4 ml-es EDTA-t (véralvadásgátlót) tartalmazó csövekbe helyeztünk és $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ -on

tároltuk a DNS kinyeréséig. A mintavételt képzett állatorvosok végezték a vizsgálatról függetlenül szervezett rutin mintagyűjtés során. A genomiális DNS izolálását teljes vérből *Zsolnai et al. (2003)* módszere alapján végeztük. DNS preparálás a fehérvérsejtek sejtmagjából történt, ezután az MSTN g.66493737C/T polimorfizmus genotipizálását PCR-RFLP vizsgálattal végeztük (*Hill et al. 2010a*). Ennek menete a következő volt: DNS-preparálás során az első lépés a fagyasztott vérmin-ták kiolvasztása volt. A kimért mintákat (50 µl) számozott Eppendorf-csövekbe raktuk, majd 500 µl/cső vérmosó oldat (10 mM Tris pH = 7,5; 1 mM EDTA, pH = 7,43) adagolását követően vortexeltük (10 mp), és centrifugáltuk azokat (2 perc, 12 000 rpm). A felülszó elegy leöntése után a folyamatot (mosás, keverés, centrifugálás) kétszer ismételtük. A szárítási fázis után lízis puffert és Proteináz-K elegyet mértünk a mintába (100 ml puffer, 0,4 µl Proteináz-K enzim) és Falcon-csőben, vortex segítségével homogenizáltuk a mintával (8-10 mp). Az Eppendorf-cső alján maradt sejtpellethez lízis (100 µl) elegyet adtunk, kevertük (vortex, 7-10 mp) és centrifugáltuk (600-700 fordulatszámig). A mintákat vízfürdőbe tettük (56 °C, 60 perc), majd a Proteináz-K enzim inaktiválása érdekében 96 °C-on 10 percig tartottuk. A PCR reakcióhoz PxE 0,5 Thermal Cycler (Thermo Electron Corporation, USA) készüléket használtunk. Az elegy teljes mennyisége 10 µl volt, mely a következőket tartalmazta: 7,51 µl desztillált víz, 1 µl 10x puffer, 0,08 µl dNTP Mix: 9,04 µl / cső, 0,2 µl mindegyik primerből, 0,06 µl DNS polimeráz, 0,96 µl genomiális DNS / cső. A PCR-terméket az amplifikációt követően 5U ScaI (MBI Fermentas, USA) restrikciós endonukleázzal emésztettük (12 óra). Az elektroforézist 1,5 óra alatt, 5 és 10 V/cm áramerősség mellett végeztük, majd a kapott eredményeket etídium-bromiddal festett gélen UV-lámpa segítségével értékeltük.

A százharminc állatból hatvanhatot – genotípusonként huszonkettőt – véletlenszerűen választottunk ki az ultrahangos vizsgálatokhoz. A lovak életkora 7 és 12 év között változott. A lovak telephelyén dolgozó állatorvosok segítségével az echokardiográfiát és az izomultrahangot egy hordozható MyLab™ AlphaVET készülékkel (Esaote S.p.A., Genova, Olaszország) végeztük, amely a dedikált szondák és szoftverek széles választékát kínálta. Az echokardiográfiát 2,5 MHz-es fázissoros ultrahang transzducerrel (SP2430, Esaote S.p.A., Genova, Olaszország) fejeztük be. A szektorszög 90° volt, a maximális képmélység pedig 35 cm volt, ami lehetővé tette, hogy a teljes szívet a jobb oldali echokardiográfiás ablakból (jobb oldali 4. bordaközi tér) láthassuk. A végdiasztolés mérések optimális időzítése érdekében szimultán elektrokardiográfiát is rögzítettünk. Standardizált kétdimenziós és irányított M-módú echokardiográfiát végeztünk minden egyednél egy, már korábban leírt módszer alapján (*Long-Bonagura-Darke 1992*). A statisztikai elemzéshez használt összes mérést ugyanaz a személy végezte. A végszisztolés M-módú méréseket az interventricu-

laris septum maximális kitérésénél, a végdiasztolés méréseket a szív ciklus QRS szakaszának kezdetén végeztük. Minden mérést három szív ciklusban megismételtünk, amikor a pulzusszám fiziológiás határokon belül volt. A másodfokú atrioventrikuláris blokk utáni szív ciklusokat nem használtuk a mérésekhez. A bal kamrai M-módú méréseket a jobb parasternalis rövid tengely nézetéből végeztük az ínhúrok (chordae tendineae) szintjén. A mért paraméterek a következők voltak: A jobb kamra átmérője diasztolében (RVD), az interventricularis septum diasztolében (IVSd) és szisztolében (IVSs), a bal kamra átmérője diasztolében (LVd) és szisztolében (LVd) és szabad falvastagsága diasztolében (LVFWd) és szisztolében (LVFW). Az aorta átmérője szisztolében és diasztolében a billentyűk szintjén (ADVd, ADVs), a Valsalva-öböl (ASDd, ASDs) és a sinotubularis junctio (ASJd, ASJs) átmérőjét a bal kamrai kiáramlási traktus kétdimenziós, jobb parasternalis hossz tengelyének nézetéből. Meghatároztuk a pulmonalis artéria végdiasztolés átmérőjét a jobb parasternalis, jobb kamrai beáramlási-kiáramlási echokardiogramról. A bal pitvari átmérőket (végdiasztolés, LADd és végszisztolés, LAD-ok) a jobb parasternalis négykamrás nézetben mértük kétdimenziós echokardiográfiában.

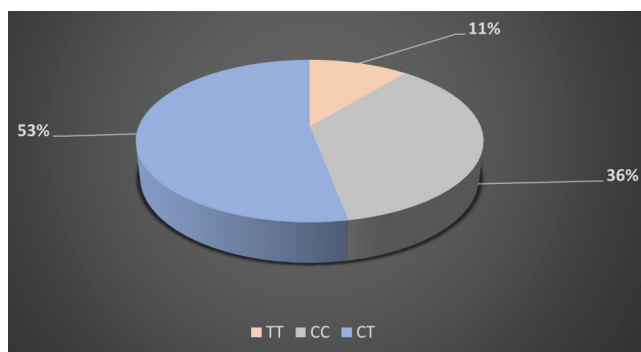
A vázizmokat (m. triceps brachii, m. anconaeus, m. trapezius thoracis, m. longissimus dorsi, m. gluteus medius, m. semitendinosus és m. quadriceps femoris) konvex ultrahang transzducerrel (AC2541, Esaote S.p.A., Genova, Olaszország) vizsgáltuk. Reprodukálható ultrahangfelvételeket és méréseket csak az anconaeus, triceps brachii és longissimus dorsi izomzatból kaptunk, ezért a statisztikai elemzéshez csak ezekből az izmokból származó adatokat használtuk fel. Az anconaeus izmot a könyök oldalsó részén, közvetlenül a könyökbúb (olecranon) felett vizsgáltuk. A triceps brachii oldalsó fejének középpontját a könyök és a vállvonalak között vizualizáltuk. A longissimus dorsi izom mellkasi részét longitudinális és keresztirányú nézetben vizsgáltuk a 10. bordaközi térben. Az izompólya hosszát és az izomköteg szögét az anconaeusból, a vastagságot a másik két izomból mértük. Az anconaeus izomköteg hosszának és szögének mérését a korábban humán sportolóknál publikált (*Abe-Kumagai-Brechue 2000; Kumagai et al. 2000*) módon végeztük. Minden mérést kétszer ismételtünk, az értékek jó egyezése mellett ($P < 0,05$). Az adatkészletet az SPSS 15.0 for Windows szoftverrel elemeztük (SPSS Inc., Chicago, IL, USA). Az MSTN csoportok közötti variancia homogenitását Levene-tesztel ellenőriztük. A mért változók varianciája az összehasonlított csoportokban egyenlő volt ($p > 0,05$). Többváltozós varianciaanalízist (általános lineáris modell, GLM) alkalmaztunk a mért paraméterek és az MSTN genotípusok közötti különbségek meghatározására. A nemet és az életkort rögzített tényezőknél tekintettük. Az LSD és Tuckey HSD post hoc tesztet használtuk a genotípuscsoportok közötti különbségek feltárására. A GLM-modell a következő volt:

$$y_{ijk} = \mu + MSTN_i + kor_j + ivar_k + e_{ijk}$$

ahol y a mért izom- és szívparaméter, μ az általános átlag, $MSTN$ a miostatin genotípusa (C/C, C/T vagy T/T), az életkor az életkor hatása (7–12), az ivar az ivar hatása (mén vagy kanca), az e pedig a maradék hiba.

Vizsgálati eredmények és diszkusszió

A MSTN-vizsgálatban a genotípusok megoszlása 53% középtávú (CT), 36% sprinter (CC) és 11% hosszútávú (TT) állat volt. A vizsgált mintán belüli megoszlást az 1. ábra szemlélteti.



1. ábra Genotípusok megoszlása a vizsgált mintákban
Forrás: saját szerkesztés

Az anconaeus izom hossza és a triceps brachii izom vastagsága szignifikáns különbséget mutatott a C/C és T/T genotípusok között. A triceps brachii esetében a C/T és a T/T genotípusok között ugyancsak szignifikáns volt a különbség (1. táblázat). A legmagasabb értékeket minden esetben a C/C állatok esetében regisztráltuk. A longissimus dorsi izom esetében a genotípusok közötti különbségek nem voltak szignifikánsak.

A genotípusok közötti szignifikanciaszinteket minden mért paraméter esetén a 2. táblázat mutatja be.

2. táblázat A mért paraméterek különbségei, szignifikanciaszintje az MSTN genotípusok tükrében

Mért paraméterek	MSTN genotípusok		p-érték LSD	p-érték Tuckey HSD
Izomhossz – anconaeus izom	C/C	T/T	0,004	0,011
Izomvastagság – triceps brachii izom	C/C	T/T	0,000	0,000
	C/T	T/T	0,004	0,007
LADd	C/T	T/T	0,003	0,023
	C/C	T/T	0,022	0,057*
ADVd	C/T	T/T	0,010	0,028
ASDd	C/T	T/T	0,002	0,006
	C/C	T/T	0,015	0,038
ASJd	C/T	T/T	0,000	0,001
	C/C	T/T	0,020	0,051*
ADV _s	C/T	T/T	0,001	0,001
	C/C	T/T	0,014	0,037
ASD _s	C/T	T/T	0,001	0,001
	C/C	T/T	0,011	0,030
IVSd	C/C	C/T	0,002	0,005
	C/T	T/T	0,002	0,001

LADd = bal pitvari átmérő, végdiasztolé, ADVd = aorta átmérője a billentyűnél, végdiasztolé, ASDd = aorta átmérője a szinusznál, végdiasztolé, ASJd = aorta átmérője a sinotubularis régióknál, végdiasztolé, ADV_s = aorta átmérője a billentyűknél, végszisztolé, ASD_s = aorta átmérője szinusznál, végszisztolé, IVSd = kamrai septum vastagsága, végdiasztolé, * = nem szignifikáns különbség

Forrás: saját szerkesztés

Ezen eredmények segítségével jobban megérthető az MSTN gén hatása az angol telivérekek versenyképességére, és szerepe a vázizomzat kialakulásánál. Munkánk elsőként szolgáltat olyan adatokat, amelyek a telivérfajta mi-

1. táblázat A MSTN genotípusok, illetve a mért izom- és szívparaméterek közötti eltérések

Mért paraméterek	MSTN genotípusok		
	C/C	C/T	T/T
	átlag + standard hiba		
Anconaeus izom pólyájának hossza (cm)	5,529±0,355	5,053±0,209	4,308±0,208
Triceps brachii vastagsága (cm)	10,179±0,182	9,725±0,137	8,933±0,249
Bal pitvar átmérője (diasztolé végén – cm)	11,411±0,211	11,625±0,189	10,780±0,266
Aorta átmérője a billentyűk magasságában (diasztolé végén – cm)	6,911±0,126	7,025±0,119	6,547±0,166
Aorta átmérője a Valsalva szinusznál (diasztolé végén – cm)	7,850±0,141	7,958±0,168	7,353±0,124
Aorta átmérője a Valsalva szinusz felett (diasztolé végén – cm)	6,289±0,133	6,496±0,166	5,887±0,124
Aorta átmérője a billentyűk magasságában (szisztolé végén – cm)	7,233±0,101	7,379±0,127	6,747±0,139
Aorta átmérője a Valsalva szinusznál (szisztolé végén – cm)	8,194±0,093	8,367±0,148	7,700±0,158
A kamrák közötti sövény vastagsága (diasztolé végén – cm)	3,117±0,079	3,388±0,079	3,107±0,094

Forrás: saját szerkesztés

osztatin genotípusa, valamint az izomzat fejlettsége és a szívteljesítményt meghatározó egyes paraméterek között fennáll. Adataink bizonyítják, hogy a telivérek miosztatin-típusának meghatározása segítséget nyújt az idomároknak (trénereknek) az egyes versenytávok optimális megválasztásához és ahhoz legjobban illő tréningmód-szerek kiválasztásához.

Köszönetnyilvánítás

A projekt az Innovációs és Technológiai Minisztérium Kooperatív Doktori Program Doktori Hallgatói Ösztöndíj Programjának a Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból finanszírozott szakmai támogatásával készült.



A szerzők köszönik az állatok gazdáinak és állatorvosainak a vizsgálati minták gyűjtésében való közreműködését.

Irodalomjegyzék

- Abe, T., Kumagai, K. & Brechue, W. F. (2000) Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, Vol. 32. No. 6. pp. 1125–1129. <https://doi.org/10.1097/00005768-200006000-00014>
- Aiello, D., Patel, K. & Lasagna, E. (2018) The myostatin gene: an overview of mechanisms of action and its relevance to livestock animals. *Animal Genetics*, Vol. 49. No. 6. pp. 505–519. <https://doi.org/10.1111/age.12696>
- Andersson, L. (2012) How selective sweeps in domestic animals provide new insight into biological mechanisms. *Journal of Internal Medicine*, Vol. 27. No. 1. pp. 1–14. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2796.2011.02450.x>
- Brown, N. A. T., Kawcak, C. E., McIlwraith, C. W. & Pandy, M. G. (2003) Architectural properties of distal forelimb muscles in horses, *Equus caballus*. *Journal of Morphology*, Vol. 258. No. 1. pp. 106–114. <https://doi.org/10.1002/jmor.10113>
- Gaffney, B. & Cunningham, E. P. (1988) Estimation of genetic trends in racing performance of Thoroughbred horses. *Nature*, Vol. 332. No. 6166. pp. 722–724. <https://doi.org/10.1038/332722a0>
- Gunn, H. (1987) Muscle, bone and fat proportions and muscle distribution of Thoroughbreds and other horses. *ICEEP Publications*, pp. 15–20. <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=US8925785>
- Hill, E. W., Gu, J., Eivers, S. S., Fonseca, R. G., McGivney, B. A., Govindarajan, P., ... MacHugh, D. E. (2010a) A sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in Thoroughbred horses. *PLoS One*, Vol. 5. No. 1. e8645. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0008645>
- Hill, E. W., Gu, J., McGivney, B. A. & MacHugh, D. E. (2010b) Targets of selection in the Thoroughbred genome contain exercise-relevant gene SNPs associated with elite racecourse performance. *Animal Genetics*, Vol. 41. Suppl. 2. pp. 56–63. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02104.x>
- Hill, E. W., Fonseca, R. G., McGivney, B. A., Gu, J., MacHugh, D. E. & Katz, L. M. (2012) MSTN genotype (g.66493737C/T) association with speed indices in Thoroughbred racehorses. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 112. No. 1. pp. 86–90. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00793.2011>
- Hinchcliff, K. W., Geor, R. J. & Kaneps, A. J. (2008) *Equine Exercise Physiology: The Science of Exercise in the Athletic Horse*. USA, W.B. Saunders Ltd.
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S. & Mizuno M. (2000) Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 88. No. 3. pp. 811–816. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.2000.88.3.811>
- Lindner, A., Signorini, R., Vassallo, J., Tomatis, F., Flores, F. M., Gagliano, M. E., ... Terragona, E. (2010) Reproducibility and Repeatability of Equine Muscle Thickness Measurements with Ultrasound. *Journal of Equine Veterinary Science*, Vol. 30. No. 11. pp. 635–640. <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2010.10.007>
- Long, K. J., Bonagura, J. D. & Darke, P. G. G. (1992) Standardised imaging technique for guided M-mode and Doppler echocardiography in the horse. *Equine Veterinary Journal*, Vol. 24. No. 3. pp. 226–235. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1992.tb02820.x>
- McGivney, B. A., McGettigan, P. A., Browne, J. A., Evans, A. C. O., Fonseca, R. G., Loftus, B. J., ... Hill, E. W. (2010) Characterization of the equine skeletal muscle transcriptome identifies novel functional responses to exercise training. *BMC Genomics*, Vol. 11. No. 398.
- Mosher, D. S., Quignon, P., Bustamante, C. D., Sutter, N. B., Mellersh, C. S., Parker, H. G. & Ostrander, E. A. (2007) A mutation in the myostatin gene increases muscle mass and enhances racing performance in heterozygote dogs. *PLoS Genet.*, Vol. 3. No. 5. e79. <https://doi.org/10.1371/journal.pgen.0030079>
- Payne, R. C., Veenman, P. & Wilson, A. M. (2005) The role of the extrinsic thoracic limb muscles in equine locomotion. *Journal of Anatomy*, Vol. 206. No. 2. pp. 193–204. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7580.2005.00353.x>
- Petersen, J. L., Mickelson, J. R., Cothran, E. G., Andersson, L. S., Axelsson, J., Bailey, E., ... McCue, M. E. (2013) Genetic diversity in the modern horse illustrated from genome-wide SNP data. *PLoS One*, Vol. 8. No. 1. e54997. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0054997>
- Poole, D. (2004) Current concepts of oxygen transport during exercise. *Equine and Comparative Exercise Physiology*, Vol. 1. No. 1. pp. 5–22. Cambridge University Press, Cambridge
- Potard, U. S. B., Leith, D. E. & Fedde, M. R. (1998). Force, speed, and oxygen consumption in Thoroughbred and draft horses. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 84. No. 6. pp. 2052–2059. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.1998.84.6.2052>
- Savelberg, H. H. & Schamhardt, H. C. (1995) The influence of inhomogeneity in architecture on the modelled force-length relationship of muscles. *Journal of Biomechanics*, Vol. 28. No. 2. pp. 187–197. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(94\)00050-e](https://doi.org/10.1016/0021-9290(94)00050-e)
- Wolfman, N. M., McPherron, A. C., Pappano, W. N., Davies, M. V., Song, K., Tomkinson, K. N., ... Lee, S. (2003) Activation of latent myostatin by the BMP-1/tolloid family of metalloproteinases. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, Vol. 100. No. 26. pp. 15842–15846. <https://doi.org/10.1073/pnas.2534946100>
- Young, L. E., Marlin, D. J., Deaton, C., Brown-Feltner, H., Roberts, C. A. & Wood, J. L. N. (2002) Heart size estimated by echocardiography correlates with maximal oxygen uptake. *Equine Veterinary Journal. Supplement*, Vol. 34. pp. 467–471. <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.2002.tb05467.x>
- Young, L. E. (2003) Equine athletes, the equine athlete's heart and racing success. *Experimental Physiology*, Vol. 88. No. 5. pp. 659–663. <https://doi.org/10.1113/eph8802615>

Young, L. E., Rogers, K. & Wood, J. L. N. (2005) Left ventricular size and systolic function in Thoroughbred racehorses and their relationships to race performance. *Journal of Applied Physiology*, Vol. 99. No. 4. pp. 1278–1285. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.01319.2004>

Zsolnai A., Anton I., Kühn C. & Fésüs L. (2003) Detection of single-nucleotide polymorphisms coding for three ovine prion protein variants by primer extension assay and capillary electrophoresis. *Electrophoresis*, Vol. 24. No. 4. pp. 634–638. <https://doi.org/10.1002/elps.200390074>

A cikk a Creative Commons Attribution 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek. (SID_1)