

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Kis Judit
Keszthely
2025.



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem

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

Kis Judit
Keszthely
2025.

A doktori iskola

megnevezése: Festetics Doktori Iskola (FDI)

tudományága: Állattenyésztési tudomány

vezetője: **Dr. Anda Angéla, DSc**
egyetemi tanár
MATE, Georgikon Campus
Növénytermesztés-tudományok Intézet, Agronómia Tanszék

Témavezető: **Dr. Husvéth Ferenc**
professor emeritus, az MTA doktora
MATE, Georgikon Campus
Élettani és Takarmányozástani Intézet,
Takarmányozástani és Takarmányozás-élettani Tanszék

Társ-témavezető: Dr. Anton István
professor emeritus, az MTA doktora
MATE, Georgikon Campus
Festetics Imre Bioinformációs Központ

.....
Az iskolavezető jóváhagyása
Dr. Anda Angéla, MTA doktora

.....
A témavezető jóváhagyása
Dr. Husvéth Ferenc, MTA doktora

.....
A társtémavezető jóváhagyása
Dr. Anton István, MTA doktora

I. A munka előzményei, célkitűzések

A modern lósport hagyománya közel 400 évre nyúlik vissza, az angol telivérek tenyésztése során alkalmazott konzervatív szemlélet pedig ezalatt nem igazán változott. A modern időkben az egyre bővülő etológiai és genetikai ismeretek, illetve a biotechnológiai innovációk forradalmasíthatják a tenyésztési folyamatokat. Molekuláris genetikai elemzések révén és a szelekciós hatékonyság növelésén keresztül javíthatók a genetikai képességek, pontosabban azonosíthatók a teljesítményt befolyásoló nagy hatású gének és a biotechnológiai eszközök alkalmazása lehetőséget adhat a biológiai korlátok kitolására, új szintre emelve a tenyésztési programokat és a versenyzés potenciálját.

A QTL (Quantitative Trait Locus) egy olyan specifikus régió a genomban, amely egy adott mennyiségi jellegre (például magasság, testsúly, izmoltság) van hatással. A QTL-ek azonosítása lehetővé teszi a kutatók számára, hogy meghatározzák, mely genomi régiók befolyásolják ezeket a jellegeket, és azok hogyan kapcsolódnak a genetikai variációkhoz, genetikai mutációkhoz. Ez különösen fontos az állattenyésztésben, mert a mutációkat hordozó gének azonosításával lehetővé válik a marker alapú szelekció (MAS), így elérhetővé téve a pontosabb, gyorsabb tenyésztési programok életre hívását, a generációs intervallum csökkentését.

Az angol telivérek genomjában jelentős specifikus lókusz a 2000-es években azonosított ECA18 (Equine Chromosome 18) genomi régió, melynek része a miosztatin (MSTN) gén is, ami a vázizomzat negatív regulációján keresztül hat az egyed számára optimális versenytávra és a gyorsaságra. A MSTN gén polimorfizmusainak feltárásán keresztül már a tréningbe kerülés előtt meghatározható, hogy az egyed rövid-, közép- vagy hosszútávon lehet a leginkább sikeres a jövőben. Az állomány szintű genotípus-frekvencia meghatározása mindamellett forradalmasíthatja vagy kiegészítheti a hagyományos, pedigre alapú párosítást.

A molekuláris genetikai módszerek közül az SNP (Single Nucleotide Polymorphism) markerek használata javítja a marker-alapú szelekció hatékonyságát, elősegíti a genetikai rendellenességek korai diagnosztizálását.

Doktori disszertációm célja, hogy a modern lóversenyipar genetikai, tenyésztési és tréningelméleti kihívásainak komplex vizsgálatával hozzájáruljak a versenylovak teljesítményének javításához és az iparág fenntarthatóságához. A kutatásom főbb célkitűzései a következők voltak:

- I. Fő célom volt, hogy angol telivérek esetében vizsgáljam a miosztatin (MSTN) gént, amely kulcsszerepet játszik a versenytávra való alkalmasság- és a környezetre adott válaszreakciók kialakításában.
- II. További célom volt egy olyan marker-alapú szelekció (MAS) kidolgozása, mely lehetővé teszi a hagyományos tenyésztési stratégiák hatékonyságának növelését, így csökkentve a generációs intervallumot és javítva a fenotípusos teljesítményt.

- III. Célkitűzéseim között szerepelt egy olyan egyedre szabott tréningmódszer fejlesztése, mely figyelembe veszi a galopplovak genetikai háttérét és fizikai adottságait. E módszer tesztelése és finomítása révén lehetőség nyílik a lovak versenyteljesítményének növelésére és a verseny előtti felkészülés hatékonyságának javítására.
- IV. Céлом volt a fenotípusos jellemzők feltérképezésén keresztül az egyedek temperamentumbeli különbségeinek és fiziológiai mintázatainak azonosítása, különös tekintettel a motoros-és agyi lateralításra és ezek teljesítményre gyakorolt hatásának feltárására.

II. Anyag és módszer

Miosztatin vizsgálatok

Vizsgálatunk során 145 angol telivértől vettünk vért MSTN genotipizálás érdekében. Minden egyed a Bábolna Nemzeti Ménesbirtok dióspusztai ménésének telephelyén –, tulajdonában – vagy bérleményében állt.

A kancák (n = 94), mének (n = 49) és heréltek (n = 2) alábbi adatait rögzítettem egy adatbázisban: 1. szín, 2. ivar, 3. származás, 4. születési év, 5. laborszám, 6. genotípus, 7. minden egyes verseny távja, 8. aktuális életkor a verseny idején, 9. adott verseny futófelületének állapota, 10. futam besorolása (kategória), 11. helyezések, 12. nyerések, 13. nyerőidők, 14. versenyben résztvevő lovak száma, 15. összes nyereség, 16. egy futásra jutó nyereség, 17. startok száma (összes), 18. átlag versenyszám / év, 19. éves legmagasabb generálhendikep (GHP), 20. GHP maximum, 21. GHP átlag, 22. versenyzett évek száma (hosszú hasznos élettartam), 23. legjobb versenytáv (BRD – Best Race Distance), 24. legjobb versenytáv legjobb nyerőideje, 25. első futási kor, 26. kancacsalád, 27. alcsalád, 28. legjobb versenytáv legjobb nyerőideje km/h-ban kifejezve, 29. azok a távok, melyeken az egyed az első három hely valamelyikén ért célba (pl.: 1000 – 2200 m), 30. tenyésztésbe kerülés (10 éves kor felett – átlagos tenyésztésbevételi idő), 31. nyerési %, 32. a BRD nyerő km/h és a legjobb nyerő km/h egyezése. Amennyiben az utolsó adat nem egyezett, abban az esetben feltüntettem (32.) a legjobb nyerő időt és a hozzá tartozó távot is. Az adatgyűjtést az alábbi helyekről végeztem: Magyar Méneskönyv XXVIII-XXIX. kötetei, Lóverseny krónika 2005-2018 kötetei, hivatalos internetes adatbázisok.

Vérmintát állatorvos közreműködésével a vena jugularis-ból, lovanként kb. 2 ml mennyiségben vettünk, 4 ml-es EDTA-t (véralvadásgátlót) tartalmazó csövekbe. A mintákat hűtőtáskában szállítottuk, majd a DNS extrakció megkezdéséig fagyasztva, -20°C-os hőmérsékleten tároltuk. A vizsgált lovak között volt fedezőmén, anyakanca, csikó és aktív versenyló is. A DNS izolálása fehérvérsejtek sejtmagjából történt (Zsolnai et al., 2003).

Ultrahangos vizsgálatok

Az MSTN genotípusra vizsgált száznegyvenöt állatból hatvanhatot – genotípusonként huszonkettőt – véletlenszerűen választottunk ki az ultrahangos vizsgálatokhoz. A lovak életkora 7 és 12 év között volt. 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 echokardiográfias ablakból (jobboldali 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 et al., 1992).

A statisztikai elemzéshez használt összes mérést ugyanaz a személy végezte. Az végszisztolés M-módú méréseket az interventricularis septum maximális kitérésénél, a végdiasztolés méréseket a szív ciklus QRS szakaszának kezdetén végeztük. Minden mérést három szív ciklusban megismételtünk, amikor a pulzusszám fiziológias 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 (LVDd) és szisztolében (LVD), a bal kamra 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 hossztengetyének nézetéből. Meghatároztuk a pulmonalis artéria végdiasztolés átmérőjét a jobb parasternalis, jobb kamrai beáramlási-kiáramlási echocardiogramból. A bal pitvari átmérőket (végdiasztolé, LADd és végszisztolé, 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 a mm. 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 anconaeus-ból, a vastagságot a másik két izomból mértük. Az anconaeus izomköteg-hosszának és szögének mérését a korábban humán sportolóknál publikált (Abe et al., 2000; Kumagai et al., 2000) módon végeztük. Minden mérést kétszer ismételtünk, az értékek jó egyezése mellett ($P < 0,05$).

Szőrforgók vizsgálata

A vizsgált angol telivérek mindegyike ($n=31$) aktív, tréningben lévő versenyló volt, ivari kikötés nélkül, tehát lehetett mén ($n=24$) herélt ($n=1$) és kanca ($n=6$) is. A lovak 2-13 évesek voltak, mindegyikük hozzá volt szokva a karámozáshoz, változó rendszerességgel. Az összes egyed az alagi Versenyló Tréningközpontban volt elhelyezve, azonos boxos tartási körülmények között, azonos ideig, napi rendszerességgel lovagolva.

Első lépésként azonosítottuk a cirkuláris és lineáris szőrforgókat a fejen, nyakon, testen és lábakon. A fejen található szőrforgókat pozíciójuk alapján három csoportba soroltuk:

- felső szemvonal felett (jobbra fent, középen fent, balra fent)
- felső-és alsó szemvonal között
- alsó szemvonal alatt (jobbra lent, középen lent, balra lent)

A szőrforgókat a fejen az ajkaktól a fülek alsó vonaláig számoltuk. Nyakon, a jobb oldal és a bal oldal tekintetében is a vizsgált terület az atlas csigolyától a scapula (lapocka) csontig (mellkas területét is lefedve) terjedt. Továbbá, a szőrforgók számát és elhelyezkedését szimmetria szempontjából is vizsgáltuk a testen. A mintázatok rögzítéséhez az útlevelekben is alkalmazott üres ábrákat (chartokat) használtuk, az eredményeket egy adatbázisban rögzítettük, csak úgy, mint a karámteszt eredményeit és a temperamentum kérdőív pontjait.

In vivo karámteszt

A szőrforgóvizsgálat alapját képező lovak mindegyikét a számára ismerős, megszokott (egyazon) karámban vizsgáltunk, mely egy 16x21 méteres, nyitott, négyzet alakú, homokos talajú terület, legelési lehetőség nélkül. A megfigyelések 8:00 és 12:00 óra között zajlottak olyan időszakban, amikor más ló nem zavarta a vizsgálatot.

Az első kísérlet során a vizsgált lovat kikísértük a karámba, majd hagytuk, hogy az egyed levezesse felgyülemlett felesleges energiáját (galoppozzon). Ezután a karám közepére egy 20 literes műanyag vödörbe répát tettünk, majd hagytuk, hogy megközelítse azt és lehajoljon enni. Amikor lehajol a táplálékért egy ló, mindig „kitámaszt” az egyik lábával, mely előrébb lesz a másik elülső lábánál, ezt az előre helyezett végtagot rögzítettük preferált oldaliként. Miután elfogyott a

táplálék 180 másodperc elteltével megismételtük a kísérletet. Összesen tíz alkalommal helyeztünk ki répát, minden alkalommal rögzítve az oldalpreferenciát, alkalmanként 60 másodpercig, így az összes rögzített idő 10x60 másodperc volt. Rögzítettük továbbá az elfordulási irányt az embertől, majd a vödörtől is. A vizsgálatot végző személy, egyszínű fekete ruházatban volt, mozgásában nem befolyásolta az állatot.

Temperamentum kérdőív

A szőrforgó-és karámvizsgálat harmadik részeként egy temperamentum-kérdőívet töltöttünk ki az egyedet ismerő személyekkel, lovanként két emberrel. Egy, már korábban validált, 20 kérdésből álló kérdőívet használtunk (Momozawa et al., 2005). A 20 kérdést a már publikált módon 3 faktorcsoportha osztottuk és elemeztük.

Statisztikai analízis

Miosztatin vizsgálatok statisztikai értékelése

A genotipizálás után populációegyensúly-vizsgálatot végeztünk. A Hardy–Weinberg-törvény kimondja, hogy egy genetikai egyensúlyban lévő populációnál a géngyakoriság állandó, amelyet a következő képlet ír le:

- $p+q=1$

ahol a p az egyik allél gyakorisága, míg a q a másik allél gyakorisága, tehát:

- $p = 1 - q$

- $q = 1 - p$

Az A_i allél (p_i) gyakoriságát az $A_i A_i$ homozigóta genotípus gyakoriságának és az $A_i A_j$ heterozigóta gyakoriság felének összege adja meg:

- $p_i (A_i) = A_i A_i \text{ gyakoriság} + \sum \frac{1}{2} A_i A_j \text{ gyakoriság}$

ahol az $\frac{1}{2}$ a heterozigóta állapotban előforduló allélok fele. Mivel a heterozigóták esetében az allélek fele fordul elő heterozigóta formában, ezzel a képlettel a genotípusgyakoriságból kiszámítható az allélgyakoriság. Például a C allél gyakorisága az alábbi módon számítható:

C allél által elfoglalt lokuszok száma

C és T allélek által elfoglalt lokuszok száma

Az MSTN gén és a retrospektív eredmények közötti asszociációvizsgálathoz az IBM SPSS Statistics Viewer 23 programcsomagot és a GraphPad InStat 3 szoftvert használtuk. A fenotípusos mérőszámok közötti különbségeket a

genotípuscsoportok tekintetében nem paraméteres varianciaanalízissel (ANOVA, Kruskal-Wallis) tesztel vizsgáltuk.

Ultrahangos vizsgálatok statisztikai értékelése

Az echokardiográfia, elektrokardiográfia és muszkuloszkeletális ultrahang során kapott adatokat az SPSS 15.0 for Windows szoftverrel elemeztük. A variancia homogenitásának ellenőrzésére a Levene-tesztet alkalmaztuk az MSTN csoportok között. A vizsgált szív-és izomparaméterek és az MSTN genotípusok közötti eltérések meghatározására többváltozós varianciaanalízist (általános lineáris modell, GLM) végeztünk. Az ivart és az életkort rögzített tényezőként kezeltük és genotípus-csoportok közötti különbségek elemzéséhez LSD és Tukey HSD post-hoc tesztet alkalmaztunk. A GLM modell az alábbi formában épült fel:

$$y_{ijk} = \mu + \text{MSTN}_i + \text{kor}_j + \text{ivar}_k + e_{ijk},$$

ahol y a mért izom- és szívparaméter, μ az általános átlag, MSTN a miosztatin genotípusa, az kor az életkor hatása, az ivar az ivar hatása, az e pedig a maradék hiba.

Szőrforgóvizsgálatok statisztikai értékelése

Gyakorisági elemzést végeztünk, melyben vizsgáltuk a szőrforgók (radiális és lineáris) elhelyezkedését a fejen (balra, jobbra, középen, valamint a felső szemvonal felett, alsó szemvonal alatt, vagy a szemek között) és a testen (fej, test, nyak, törzs, oldal, lábak). A különböző helyeken (fej, test és lábak) megtalálható körkörös és lineáris szőrforgókkal rendelkező lovak arányát Fisher-próbával hasonlítottuk össze.

A lovakat három csoportba soroltuk a fejen található szőrforgók alapján. Amennyiben a szőrforgók mind az óramutató járásával megegyező irányúak (clockwise), vagy az óramutató járásával megegyező irányúak és radiálisak voltak (és nem voltak az óramutató járásával ellentétes irányúak), akkor ezeket a lovakat az óramutató járásával megegyező irányúak csoportjába (clockwise) soroltuk. A többi lovat, amelyeknek a fején az óramutató járásával ellentétes (anticlockwise), vagy az óramutató járásával ellentétes és radiális szőrforgók voltak (és nem voltak az óramutató járásával megegyezőek), az óramutató járásával ellentétes (anticlockwise) lovak csoportjába soroltuk. Az egyidejűleg az óramutató járásával megegyező és az óramutató járásával ellentétes irányú, ill. a fejen található radiális szőrforgót mutató lovakat „kétkezesként” azonosítottuk, azaz a mindkét oldali lábukat közel egyformán használó egyedeket soroltuk ebbe a csoportba. A kapott eredményeket R 4.3.0 statisztikai szoftverrel értékeltük.

In vivo karámteszt statisztikai értékelése

Ballábasnak minősítettük azokat a lovakat, amelyek a karámteszt során 10-ből legalább 8 alkalommal használták bal első lábukat (vagy fordultak balra). Jobblábasnak minősítettük azokat a lovakat, amelyek 10-ből legalább 8 alkalommal használták a jobb első lábukat (vagy jobbra fordultak). „Kétlábasnak” minősítettük a lovakat, ha 10-ből legalább 7 alkalommal használták a bal első lábukat (vagy balra fordultak).

Gyakorisági elemzést végeztünk mind a szőrforgók (körkörös és lineáris) helyzetére, mind azok számára vonatkozóan. A körkörös szőrforgók jelenlétét a fej felső részén, a körkörös szőrforgók számát, ill. elhelyezkedését a fejen (bal, jobb vagy kétoldali), a körkörös szőrforgók orientációját (bal, jobb vagy kétoldali), a szőrforgók (radiális és lineáris) számát a fejen és a testen, külön-külön számoltuk. Ezeket a változókat a lábpreferenciával (bal, jobb, vagy kétoldali) hasonlítottuk össze a karám-teszt során chi-négyzet teszt segítségével. Fisher-teszt alkalmazásával összehasonlítottuk a fejen lévő szőrforgók irányát (az óramutató járásával ellentétes, az óramutató járásával megegyező vagy mindkét irányba mutató) a lábpreferenciával (balra, jobbra vagy mindkét irányba mutató).

Temperamentum kérdőív statisztikai értékelése

A temperamentum kérdőív pontszámait a Momozawa et al. (2007) által javasolt módszer alapján számoltuk ki. A szorongási faktor 7 kérdést tartalmazott a következők szerint: 1. kérdés (ideges), 5. kérdés (izgatott), 9. kérdés (pánikra hajlamos), 11. kérdés (kiszámíthatatlan), 14. kérdés (éber), 18. kérdés (félénk), 19. kérdés (bátortalan/ijedős). A tréningezhetőségi faktor 4 kérdést ölelt fel: 2. kérdés (koncentrált), 4. kérdés (könnyen tréningezhető), 8. kérdés (memória), 15. kérdés (kitartó). A barátságosság-faktor szintén 4 kérdésből állt: 6. kérdés (barátságos az emberekkel), 10. kérdés (együttműködő), 13. kérdés (szelíd), 16. kérdés (barátságos más lovakkal).

Az egyes klaszterek kérdéseinek pontszámait összegeztük, és minden esetben összehasonlítottuk az eredményeket. Általános lineáris modellekkel vizsgáltuk, hogy a mért temperamentumjellemzők közül bármelyikre szignifikánsan hatnak-e a mért változók (szőrforgók, lábpreferencia).

Pearson korrelációs tesztet használtunk az összes szőrforgó (típusa, elhelyezkedése) és a mért személyiségjegyek hatásának vizsgálatára. A statisztikai elemzéshez az R 4.3.0 statisztikai szoftvert használtuk, a szignifikancia vizsgálatához $p < 0,05$ értéket alkalmaztunk.

Tréningmódszer tesztelés (Pilot study)

Vizsgálatunkban az előzetes MSTN genotipizálási eredmények alapján minden genotípuscsoportból három azonos korú ír import egyedet választottunk ki, amelyek a próbatanulmány (pilot study) tesztlovaiként szolgáltak. Mindegyikük azonos trénernél állt és mindegyiküket két lovas készítette fel a versenyekre (felváltva), egy szezonon (11 hónap) keresztül. Mindegyikük azonos tartási körülmények között, azonos tartási helyen, az Alagi Lóversenypálya és Tréningközpont telephelyén tartózkodott. A lovak genotípust-, napi terhelést-, változó fiziológiai és mentális állapotot figyelembe véve hasonló, takarmányozásban részesültek. A takarmányozás mennyiségét és összetételét a megbízott tréner és állatorvos koordinálta.

A három kiválasztott ló a 257-es laborszámú Next Page (IRE), a 258-as laborszámú Szigliget (IRE) és a 259-es laborszámú Copadelmundo (IRE) volt. Mindhárom egyed a hároméves versenyszezonja előtt került a kijelölt trénerhez.

259 Copadelmundo (IRE)

A tesztidőszak kezdetén a kétéves ír import mén mérlege két futás és két hatodik hely volt. Kétévesen 1400-1600 méteren versenyzett IV. kategóriás/ osztályú versenyekben. MSTN genotípusa alapján T/T, azaz hosszútávú ló volt, külleme és testfelépítése alapján, azonban nem volt tipikus stayer alkat. A mindaddig rövidtávra készített és futtatott mén egyhónapos pihenő után januártól nyolchetes előkészítő (PC – pre-conditioning) munkát kapott, melynek során heti öt napon, változó irányban (jobb kézre, bal kézre) teljesített napi 3000-4000 m-t átlagosan 15-25 km/h (lassú-közepes) sebességgel. A bemelegítés és levezetés lépés-ügetés jármódokban összesen 20 percet vett igénybe minden alkalommal. Emellett az egyed napi 1 órát töltött jártatógépen, lépés jármódban, váltott kézre. Karámba nem járt a tesztidőszak alatt. Márciustól hosszútávú kondicionálómunkát végzett (CW – conditioning work), mely időszak alatt heti 6 napot dolgozott: a 3 napos hosszú, lassú kondicionálómunka kiegészült heti 3 napos intervallum (IT) tréninggel. Utóbbi során a 20 perces bemelegítő-és levezető időszak mellett 4x400 m-t edzett közepes-magas tempóban (átlagosan 25-30 km/h) abszolválta szakaszokkal, mely szakaszok között 2 perces pihenőidő volt lépés jármódban. A versenyidőszak (RP – race period) alatt 2 nap PC, 2 nap IT és 1-2 nap sprintmunkát kapott a telivér. A sprintmunka 1600 m-en zajlott, ahol az utolsó 200-300 m-t végsebességen tette meg a ló. A sprint során, kizárólag a verseny előtti héten ment kilovagolt (kézzel vagy ostorral ösztönzött lovaglás) munkát. A verseny hetében (hazánkban vasárnaponként rendezik a galoppversenyeket) a megfelelő regenerálódás érdekében az utolsó RP munkát legkésőbb pénteken kapta minden egyed.

257 Next Page (IRE)

A vizsgálat kezdetén kétéves ír import kanca egyszer futott, IV. osztályban, 1600 m-en 4. helyezést ért el. MSTN genotípusa C/T volt, azaz középtávú és előzetesen ennek megfelelően készítették miler versenyekre. Testfelépítése jól tükrözte a genotípusát. Egy hónapos pihenőt követően januártól azonos alapozó, azaz PC időszakban részesült, mint a 256-os és 258-as laborszámú telivér, az asszimetrikuasságot elkerülve a kiszabott távot szintén változó futási irányokban teljesítve. A napi munka egyórás járatógépezéssel egészült ki (váltott kézen), karámba viszont nem járt. A márciustól kezdődő 3 hetes CW szakasz alatt a hosszútávú munkák helyett középtávú szakaszokat (1600-2000 m) teljesített 3 napon egységesen közepes (átlagosan 20-25 km/h) sebességgel, 3 napon 1600 m-es távot három szakaszra osztva, 2x2 perc pihenőidővel (lépésben) közepes-magas tempóban (25-30 km/h). Az RP periódus alatt 2 nap IT munka, nap CW munka magas tempóban és 2 nap sprintmunka volt a heti edzésösszetétel. A sprintmunka és a kilovagolt sprintmunka a már fentebb tárgyaltakhoz hasonlóan zajlott.

258 Szigliget (IRE)

A kísérletbekerüléskor a kétéves ír import kanca egyszer futott egy IV. kategóriás versenyben, 1400 m-en, ahol 5. helyezést ért el. MSTN C/C genotípusa és testfelépítése alapján is tipikus sprinter alkat, ennek megfelelően futatták előzetesen. Az egyhónapos pihenőidő után, januárban kezdte a PC munkát, ahol a másik két telivérrel megegyező felkészítést kapott. A másik két, kísérletben részvevő egyedhez hasonlóan járatógépen töltött napi egy órát, karámba viszont nem járt. A tavasszal kezdődő CW periódus alatt maximum napi 1600 m-t teljesített 3 napot közepes (20-25 km/h) sebességgel, 3 napon intervallum edzéssel, 3x2 perc pihenőidővel (lépés jármód). Az első-és harmadik szakaszos 400 métert közepes tempóban, a második és negyedik szakaszt ún. „breeze work” tempóban teljesítette (~40 km/h). Ez utóbbi gyors tempót, de nem teljes erőbedobást, ellenőrzött sebességet jelent a gyakorlatban. Az RP szakasz 2 nap PC, 2 nap IT és 2 nap sprintmunkát jelentett. A sprint tréningek és kilovagolt sprint tréningek 1200 m-en folytak.

III. Eredmények és azok megbeszélése

Miosztatin vizsgálatok

A vizsgált állomány (n = 145) 34%-a (n = 49) volt mén, 64%-a kanca (n = 93) és 2%-a herélt (n = 3). Az egyedek 67 apaméntől és 100 anyakancától származtak. A genotípusok megoszlása, a következő volt: rövidtávúak (C/C): 45 egyed, középtávúak (C/T): 84 egyed és hosszútávúak (T/T): 16 egyed.

A vizsgált mintán belül a tapasztalt genotípusgyakoriság megoszlása így:
 $0,57 - C/T$, $0,32 - C/C$, és $0,11 - T/T$, ahol a mintán belül az allélgyakoriság: $0,6$ (C) és $0,4$ (T) volt, a következő módon kiszámoltak szerint:

- $145 \cdot 2 (290 - \text{összes allél}) = 90 (CC) + 84 CT = 174 = 0,6$
- $145 \cdot 2 (290) = 32 (TT) + 84 (TT) = 116 = 0,4$

illetve

- $p^2 + 2pq + q^2 = 1$, azaz $0,58 (168 CT) + 0,31 (90 CC) + 0,11 (32 TT) = 1$

Hatásvizsgálat

A GHP maximuma nem különbözött szignifikánsan ($p > 0,05$) a három csoport esetében, tehát a sikerességet nem befolyásolta a távra való alkalmasság. Az 50 tovább vizsgált egyed közül, 19 C/C egyed esetében 14-nek egyezett (73%) a legjobb távja a genotípusával. A C/T csoport esetében 15 egyezés (55%) és 12 eltérés – míg a T/T csoport esetében 3 egyezés (75%) és egy eltérés volt az eredmény. A C/C genotípusnál a legjobb táv (legjobb távnak minősül a legmagasabb osztály, amit az egyed versenykarrierje során megnyert. Pl.: Egy V. osztály és egy Gr.3 nyerés közül a Gr.3 verseny távja lesz a legjobb táv (pl.: 1200 m), azaz a Best Race Distance (továbbiakban: BRD) legjobb átlagideje (BRD-hez tartozó km/h-ban kifejezett átlagsebesség) 59,1 km/h volt (min. 55,07 km/h, max. 62,39 km/h). Ebben a csoportban a lovak 38,9%-a futott 60 km/h vagy afelett a Best Race Distance esetében. 5 galopplónál nem egyezett a BRD és az abszolút legjobb nyerőidő. A C/T csoportban a BRD átlagsebessége 58,5 km/h volt (min. 55,7; max. 61,8) és 17,2% futott 60 km/h sebességgel, vagy gyorsabban. A T/T csoportban a BRD átlag 58,1 volt (min. 54,2 km/h; max. 60,4 km/h). 20% -a volt a lovaknak képes 60 km/h felett futni. A genotípusok ez alapján igazolták, hogy a csoportokban a várt eredményeknek megfelelően a távra való alkalmasság növekedésével az átlagsebesség is csökken, azonban a három csoport között statisztikailag igazolható különbség nem mutatkozott.

A GHP átlag és GHP maximum esetében nem volt szignifikáns különbség a három genotípus egyedei között (Kruskal- Wallis nonparametric ANOVA test: $p = 0,0824$, $KW = 4,993$). A versenyzett évek számában a C/C és a C/T genotípusok egyaránt átlagosan 3 évig versenyeztek, míg a T/T genotípusok csupán 2,5 évig. A GHP átlagnál azonban fontos megjegyezni, hogy a C/T genotípusú állatok az első 3 versenyévben jobban teljesítenek, mint a C/C vagy a T/T genotípusú lovak. A kereset tekintetében nem találtam szignifikáns különbséget a genotípusok között (Kruskal-Wallis, $p = 0,1184$; $KW = 4,267$) A kancacsaládok hatását vizsgálva kiderült, hogy a vizsgált mintában a 4-es család ($n = 6$) egyedei kereset és GHPmax tekintetében is kiemelkedőnek bizonyultak (GHPmax 60-103) a többi családhoz képest.

Ultrahang vizsgálatok

Az anconeus 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. A legmagasabb értékeket minden esetben a C/C állatok esetében regisztráltuk. A longissimus dorsi izom esetében a genotípusok közötti különbségek nem voltak szignifikánsak. A lineáris regressziós elemzések azt mutatták, hogy a lineáris mérések eredményei pozitív kapcsolatban álltak a testtömeggel (LADd: $P = 0,007$, $r^2 = 0,126$; ADVd: $P = 0,001$, $r^2 = 0,197$; ASDd: $P < 0,001$, $r^2 = 0,439$; ASJd: $P = 0,035$, $r^2 = 0,078$; ADVs: $P = 0,002$, $r^2 = 0,162$; ASDs: $P < 0,001$, $r^2 = 0,244$; ASJs: $P = 0,038$, $r^2 = 0,076$; PADd: $P = 0,001$, $r^2 = 0,173$; LVDd: $P < 0,001$, $r^2 = 0,456$; LVDs: $P < 0,001$, $r^2 = 0,259$). Szignifikáns összefüggés a testtömeggel nem volt kimutatható az allometrikus arányosítást követően egy 500 kg-os standard testtömegnél. Az LAAd nem állt kapcsolatban a testtömeggel ($P = 0,271$, $r^2 = 0,034$), de az LVIAd ($P < 0,001$, $r^2 = 0,316$) és az LVIVd ($P < 0,001$, $r^2 = 0,302$) igen. Ez a pozitív kapcsolat szintén eltűnt allometrikus arányosítás után. A genotípusok között szignifikáns különbségeket figyeltünk meg a következő kardiológiai változók között: LADd, ADVd, ADVs, ASDd, ASDs, IVSd, ASJd. A heterozigóta állatok minden esetben a legmagasabb értékeket mutatták (11,6, 7,0, 7,4, 8,0, 8,4, 6,5 és 3,4 cm). A homozigóta állatok összehasonlításakor a C/C telivérek értékei meghaladják a T/T genotípust hordozó állatokét. A LADd, ADVd, ADVs, ASDd, ASDs és ASJd mutatók átlagértékei a C/C genotípusú egyedek esetében 0,6, 0,4, 0,5, 0,5, 0,5 és 0,4 cm-rel voltak hosszabbak a T/T genotípusú állatok értékeinél. Ami az anconeus izom hosszát és a triceps brachii izom vastagságát illeti, a C/C genotípusoknál tapasztaltuk a legmagasabb értékeket (5,5 és 10,2). A mért paraméterek különbségei és a szignifikancia szintje az MSTN genotípusok között LSD post-hoc teszttel. LADd = bal pitvari átmérő, végdiasztolé, ADVd = aorta átmérője a billentyűnél, végdiasztolé, ASDd = aorta átmérője a szinusznál, végdiasztolé, ASJd = aorta átmérője a sinotubularis régióknál, végdiasztolé, ADVs = aorta átmérője a billentyűknél, végszisztolé, ASDs = aorta átmérője szinusznál, végszisztolé, IVSd = kamrai septum vastagsága, végdiasztolé, † = nem szignifikáns különbség. A Tukey HSD poszt-hoc tesztek esetében a p-értékek két kivétellel 0,05 alatt voltak; a LADd és ASJd mért különbségeinek szignifikanciaértékei és T/T genotípusok közötti különbségek 0,057 és 0,051 értékek voltak. Ezen eredmények segítségével jobban megérthető az MSTN gén hatása az angol telivérek versenyképességére és szerepe a vázizomzat kialakulásánál. Munkánk elsőként szolgáltat olyan adatokat, amelyek az angol telivér fajta miosztatin 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 tréning módszerek kiválasztásához.

Szőrforgók vizsgálata

Eredményeink alapján a szőrforgók elhelyezkedése azt mutatta, hogy a vizsgált test bármely részén a cirkuláris szőrforgók gyakoribbak voltak, mint a lineárisak, de elhelyezkedésük hasonló mintázatot követett. A hazai telivér versenylovak mindegyikének ($n_{ló}=31$) volt legalább egy cirkuláris szőrforgó a fején, a testen (nyak és horpasz), míg a végtagokon csak 25,8%-nak (8 ló) volt cirkuláris szőrforgója. Ezzel szemben csak 12 (38,7%) lónak volt legalább egy lineáris szőrforgó a fején, 77,4%-nak ($n_{ló}=24$) a testen, azonban a végtagokon egyetlen lineáris szőrforgó sem volt megtalálható. A lovak fején a cirkuláris szőrforgók számának átlaga 1 [1,3], a lineáris szőrforgóké pedig 0 [0,3] volt. A fejen található összes szőrforgó (mind a körkörös, mind a lineáris) átlaga 2 [1,6] volt. A lovak testen (a fejet nem számítva) a cirkuláris szőrforgók számának átlaga 5 [2,7], a lineáris szőrforgóké pedig 1 [0,5] volt. A szőrforgók (cirkuláris és lineáris) teljes számának átlaga a testen (a fejet nem beleértve) 6 [2,10] volt. A vizsgált 31 ló fején összesen 60 szőrforgó volt (42 cirkuláris és 18 lineáris), amelyek 73,3%-a ($n_{szforgó}=44$) a fej felső részén helyezkedett el, 23,3%-a ($n_{szforgó}=14$) a szemek között, és csak 2 (0,03%) a fej alsó részén. A 60 szőrforgóból 61,7% ($n_{szforgó}=37$) a fej közepén, 23,3% ($n_{szforgó}=14$) a bal oldalon, 15,0% ($n_{szforgó}=9$) pedig a jobb oldalon volt. A ló testen (nyak, törzs és oldalak) a 31 vizsgált lónak összesen 182 cirkuláris- és lineáris szőrforgója volt, 39,6% ($n_{szforgó}=72$) a bal oldalon, 22,5% ($n_{szforgó}=69$) a jobb oldalon és 37,9% ($n_{szforgó}=41$) középen. A végtagokon a 31 lónak összesen 12 cirkuláris szőrforgója volt, de egyetlen lineáris sem, 41,7% ($n_{szforgó}=5$) a bal lábakon, 58,3% ($n_{szforgó}=7$) a jobb lábakon.

A fejen a 41 körkörös szőrforgóból 21 db volt radiális (51,21%), 11 (26,8%) az óramutató járásával ellentétes irányú és 9 (21,95%) az óramutató járásával megegyező irányú. A bal oldalon lévő cirkuláris szőrforgók 60,0%-a (3/5) az óramutató járásával ellentétes volt, 33,3%-a (4/12) a jobb oldalon lévő szőrforgóknak az óramutató járásával megegyező irányú, 66,7%-a (16/24) pedig a középen lévő szőrforgóknak radiális volt.

A testen (nyak, törzs és oldalak) az összesen 135 körkörös szőrforgóból 6 db volt radiális (4,4%), 66 (48,9%) az óramutató járásával ellentétes irányú és 54 (32,7%) az óramutató járásával megegyező irányú. A bal oldalon lévő cirkuláris szőrforgók 87,9%-a (51/58) az óramutató járásával ellentétes irányú volt, a jobb oldalon lévők 87,5%-a (49/56) az óramutató járásával megegyező irányú, a középen lévők 52,4%-a (11/21) pedig radiális volt. A lábon az összesen 12 kör alakú szőrforgóból egyetlen sem volt radiális, 5 (41,7%) az óramutató járásával ellentétes irányú, 7 (58,3%) pedig az óramutató járásával megegyező irányú volt. A bal lábon lévő körkörös szőrforgók 28,6%-a (2/7) az óramutató járásával ellentétes irányú volt, a jobb lábon lévők 40,0%-a (2/5) pedig az óramutató járásával megegyező irányú.

Karámteszt

A 31 ló 25,81%-ának (n=8) nem volt semmilyen oldalpreferenciája, amikor elfordult a vizsgálatot végző személytől, 54,84%-a (n=17) az esetek több mint 80%-ában balra, 19,36%-a (n=6) pedig az esetek több mint 80%-ában jobbra fordult.

A vödörtől való távolodáskor 45,16%-nál (n=14) elforduláskor nem volt oldalpreferencia, 32,26%-nál (n=10) az esetek 80%-ában inkább fordult balra, és 22,58% (n=7) az esetek 80%-ában inkább fordult jobbra. A vödörből való evéskor 41,94%-nak (n=13) nem volt semmilyen oldalpreferenciája (előre tett láb vonatkozásában). Ugyanakkor 32,26% (n=10) az esetek több mint 80%-ában a bal első lábat, 25,81% (n=8) pedig a jobb első lábat részesítette előnyben.

Szignifikáns összefüggés volt a cirkuláris szőrforgók orientációja és a lábak preferálása között a vödörből való evés alkalmával ($\chi^2_{24} = 28,532$, $p < 0,001$). Azon 19 ló közül, amelyeknek nem volt lábpreferenciájuk („kétlábasak”), 63,15%-nak (n=12) vagy radiális szőrforgók voltak a fején (vagy egyszerre az óramutató járásával megegyező és az óramutató járásával ellentétes irányú). Azon 6 ló közül, amelyik a bal első lábát szívesebben tette előre („ballábas”), 83,33%-nak (n=5) az óramutató járásával ellentétes irányú forgók voltak a fején (vagy az óramutató járásával ellentétes irányú és sugárirányú, de nem az óramutató járásával megegyező). Azon 6 ló közül, amelyik a jobb első lábát szívesebben tette előre („jobblábas”), 100,00%-nak (n=6) volt az óramutató járásával megegyező irányú (vagy az óramutató járásával megegyező és sugárirányú, de nem az óramutató járásával ellentétes) szőrforgója a fején.

Temperamentum vizsgálat

A barátságosság ($p=0,006$, $r=0,484$) és az idomíthatóság ($p=0,014$, $r=0,436$) pontszámok szignifikáns és pozitív korrelációt mutattak a lovon talált szőrforgók (mind a fején, mind pedig a testen és a lábakon található lineáris és kör alakú szőrforgók) számával.

A barátságossági pontszám szignifikánsan magasabb volt ($p=0,031$) azoknál a lovaknál, amelyeknek mind a fején, mind a testen legalább egy lineáris szőrforgó volt látható, mint azoknál, amelyeknek a teste egyik részén sem volt lineáris szőrforgó. A barátságossági pontszám átlaga 20,3 (8,2), 25,7 (6,2) és 29,2 (4,7) volt azoknál a lovaknál, amelyeknek nem volt lineáris szőrforgójuk, amelyeknek legalább egy lineáris szőrforgójuk volt akár a fejükön, akár a testükön, illetve azoknál a lovaknál, amelyeknek mind a fejükön, mind a testükön volt legalább egy lineáris szőrforgó.

A szorongási pontszám szignifikánsan magasabb volt ($p=0,049$) a sárga lovak körében a többi lóhoz képest. Ezek szorongási pontszámának átlaga ugyanis 41,7 (9,4) volt, míg a többieké 32,5 (10,8). A szorongási pontszám és a szőrforgók száma nem állt szignifikáns kapcsolatban ($p=0,156$).

Az egyéb mért paraméterek egyike sem gyakorolt szignifikáns hatást a vizsgált temperamentumjellemzőkre ($p > 0,05$).

Minden állatnak megvan a maga egyedi szőrforgó mintázata, amely élete során tartósan vele marad, ezért ezt a lovak (fenotípusos) azonosításának egyik formájaként is használják más adatok és a DNS-azonosítás mellett (Murphy & Arkins, 2008). Míg a szakemberek általában csak a lovak főbb forgóit rögzítik, mi a test összes szőrforgóját részletesen dokumentáltuk. A harmincegy vizsgált egyed mindegyikének volt legalább egy körkörös szőrforgó a fején (100%), ezzel szemben a végtagjain csak kevés állatnak volt (25,8%). Ez összhangban van Encina et al. (2023) eredményeivel, ahol a PRE lovaknál ez 95%, illetve 16% volt. A legújabb tanulmányok azt mutatják, hogy az óramutató járásával ellentétes irányú körkörös szőrforgó gyakoribb a PRE lovaknál (Encina et al., 2023), mint Japánban az angol telivéreknél (Yokomori et al., 2019). A körkörös szőrforgók főként a fej bal oldalán, a szemek középvonala alatt találhatóak (Encina et al., 2023).

Vizsgálatunkban a legtöbb lónál radiális-körkörös szőrforgókat figyeltünk meg, és ezek gyakoribbak voltak a fej felső részén, ami összhangban van Yokomori et al. (2019) megállapításaival. Emellett a mi vizsgálatunkban a körkörös szőrforgók gyakoribbak, mint a lineárisak. A tanulmányok túlnyomó többsége azonban nem különíti el a két csoportot (lineáris és körkörös szőrforgók), vagy nem tisztázza, hogy a lineáris és körkörös szőrforgókat együtt vagy külön számolják (Murphy & Arkins, 2008, Abdel-Azeem & Emeash, 2021). A szőrforgók teljes számát tekintve az általunk vizsgált lovaknak összesen több szőrforgójuk volt, ill. több szőrforgójuk volt a fej tetején (a szemmagasság felett, $n=24$, 77,4%; a szemek között, $n=8$, 25,8%; a szemmagasság alatt, $n=2$, 6,5%), a Shivley et al., 2016, Lima et al., 2021, és Encina et al., 2023 által ismertetettnél. Leggyakrabban csak egy szőrforgó ($n=19$, 61,3%) fordult elő a fejen, akárcsak más szerzők vizsgálatában (Górecka et al., 2007, Lima et al., 2021). Másrészt a lineáris szőrforgók jelenléte a fejen magas volt ($n=13$, 41,9%) a mintáinkban, csakúgy, mint a lineáris szőrforgók jelenléte a testen, beleértve a fejet és más testrészeket is ($n=25$, 80,6%). Összefüggést találtunk a szőrforgók testen való elhelyezkedése és a szőrforgók forgásiránya között. Megfigyeléseink szerint a test jobb oldalán lévő szőrforgók leggyakrabban az óramutató járásával megegyező irányúak, a test bal oldalán lévő szőrforgók általában az óramutató járásával ellentétes irányúak, a test közepén (a nyakon) lévők pedig leggyakrabban sugárirányúak.

A szőrforgók kialakulásának genetikai mechanizmusa nem világos, és arról sincsenek pontos tudományos információk, hogy kialakulásukban milyen szerepet játszanak a környezeti tényezők (Willems et al., 2023). Vizsgálatainkban pozitív összefüggést találtunk a tréningezhetőség, a barátságosság és a testen lévő szőrforgók száma között. Minél több cirkuláris szőrforgót figyeltünk meg egy egyednél, annál inkább barátságosnak és könnyen kezelhető lónak bizonyult.

Versenylovaknál a motoros lateralitás a kanyarodási képességen (bizonyos lovak kanyarban lassabbak) és a sebességen keresztül befolyásolhatja a sportteljesítményt (Warren-Smith & McGreevy, 2010). Például: a veleszületett

motoros lateralitás megértésének képessége segíthet a szakembereknek a megfelelő edzésprogram vagy versenypálya kiválasztásában (a versenypályákon a versenyeket az óramutató járásával megegyező vagy ellentétes irányban rendezik). Továbbá képesek lesznek új edzés módszereket alkalmazni az egyedek egyensúlyának javítása érdekében, vagy dönthetnek egy olyan telivér átképzése mellett, amely a motoros lateralitás miatt nehezen teljesít magasabb szinten.

Paddock-kísérletünket 2024 januárjában végeztük, a legtöbb lovunk fiatal volt (2 éves $n=12$, 3 éves $n=16$). Azt találtuk, hogy a lovak 54,84%-a bal oldali preferenciát mutatott, amikor elfordult az embertől. Nem volt azonban jelentős különbség a preferált oldal vonatkozásában, amikor lehajolnak enni. McGreevy & Thomson (2006) szerint a motoros lateralitás az életkor előrehaladtával egyre hangsúlyosabbá válik. Egy másik tudományos közleményben McGreevy & Rogers (2005) megállapította, hogy a 2 évesnél idősebb telivérek szignifikánsan lateralizáltabbak voltak, mint az egyévesek, és mindkét korcsoportban nagyobb volt a bal láb preferenciája, mint a jobb lábé. A vizsgálatunkban szereplő telivérek a fején lévő szőrforgók irányával megegyező elülső lábat preferálták (pl.: az óramutató járásával megegyező irány estén a lovak inkább a jobb elülső lábukat használták). Ez egy fontos összefüggés, mivel a szőrforgók örökölhetősége (h^2) magas (Górecka et al., 2007), így elméletileg az oldalpreferencia is örökölhető. Ennek megfelelően a tenyésztők olyan lovat tenésztethetnének, amelynek motoros lateralitása megfelel az aktuális igényeiknek (pl. Magyarországon az egyetlen működő versenypálya az óramutató járásával megegyező irányú, ezért a tulajdonosok „jobbkezes” vagy „kétkezes” lovakat szeretnének). Sajnos a mai napig nem született olyan tanulmány, amely a motoros lateralitás örökölhetőségét vizsgálta volna, annak ellenére, hogy több szerző már régóta további tanulmányokat sürget ezen a területen (Grzimek, 1968, Drevemo et al., 1987).

A különböző lófajták létrehozása során a mesterséges szelekció biztosította a kedvező tulajdonságok rögzülését. A telivérek esetében az úgynevezett „matcheken” (csak két ló versenyzett bizonyos távolságon) kiváló sebességgel rendelkező egyedek voltak a legalkalmasabbak a további tenyésztésre. Ezek a lovak általában versenyképesebbek és temperamentumosabbak voltak, mint társaik. A telivéreket napjainkban is temperamentumos, izgatott lovaknak tartják, és valóban érzékenyebbek más fajták egyedeihez képest (Sackman & Houpt, 2018). Egy másik szelekciós tényező a szőrszín volt, ahol a mutatós, szép megjelenésű lovakat részesítették előnyben (Avila et al., 2022). A közhiedelem szerint a sárga színű lovak merészebbek és érzelmileg következetlenebbek a többiekénél. Finn et al. (2016) dokumentálták, hogy a sárga szőrű lovak bátrabbak voltak, mint a pejek, valamint nagyobb gyakorisággal közelítették meg az újszerű tárgyakat. Jelen vizsgálatban is megállapítottuk, hogy a sárga lovak szorongóbbak voltak, mint a többiek.

Tréningmódszer-kísérlet

Copadelmundo a klasszikus pedigreelemzés alapján, Mr. Prospectorra való beltenyésztettsége alapján kiváló sebességprofil (center of distribution), küzdőszellemet és kitartást hordoz (Chong, 2014). A dosage profil és dosage index szerint leginkább a rövidebb klasszikus (közép-hosszútávra) távokra alkalmas (~1900-2200 m). A MSTN genotipizálás alapján T/T, vagyis hosszútávú versenylő. A három kategória között (rövid-, közép-és hosszútáv) van átfedés a tréningmetódus, mint környezeti tényező befolyása miatt, de egy T/T genotípusú egyed nem lesz képes magas (elit vagy black type) szinten teljesíteni a sprinterek között (Hill et al., 2010a). A mén az új tréningben folyamatos javulást mutatott, annak ellenére, hogy erősen növésben volt. Hároméves szezonját kisebb kategóriákban (V. kategória) II. helyezéssel majd győzelemmel nyitotta 1600 m-en, azaz középtávon április-május hónapokban. Ezt követően a Hármaskorona első versenyét célozta meg a menedzsmen – az 1600 m-es Nemzeti Díjat –, ahol a hároméves évjárat legjobb középtávú lovai elsőként mérik össze erejüket. Ezen a versenyen a telivér 10. helyen ért célba, majd később a versenyt követő pihenőidő után tréningben súlyos balesetet szenvedett, melynek során a lábát több helyen varrni kellett. Ez a balszerencse lehetetlenné tette a Triple Crown második ágában, a Magyar Derby-ben való szereplést (minden év legjelentősebb versenye a hároméves évjárat számára). A sérülésből felépülve újra munkába állt, azonban nem volt egyértelmű, hogy a korábbi sérülése engedni fogja-e a versenyzést hosszútávon. Ezen aggodalmak nyomán a regenerálódást követő első megmérettetés egy 2200 m-es III. osztályú verseny volt, ahol a telivér győzelemmel tért vissza. A cél ekkor már világos volt: a Hármaskorona harmadik ága, a Magyar St. Leger. Ennek érdekében szintén egy 2200 m-es felkészülőverseny következett (III. osztály), ahol „Copa” 4. helyen ért célba. A versenytapasztalat (limitált végsebesség) és a tréningmunka ekkor már azt mutatta, hogy genotípusának megfelelően a telivér rendkívül acélos, kitartó, szinte akármeddig képes galopposzni fáradtság nélkül, azonban nincs benne nagy végsebesség. Emiatt az őszi meeting előtt minimálisan változott az eredeti tréningprogram és ismét a hosszú munkák kerültek túlsúlyba, tovább erősítve a ló kitartását. A hazai szezon zárásaként a St. Legerben az tréner és a lovas merész taktikát alkalmazva a startot követően elment vezetni, így előnyt szerezve a mezőnnyel szemben. A lovak kevesebb esetben tudnak végig vezetni egy verseny folyamán, hiszen a kezdeti nagy sebességet kifulladás, fáradás követi. A sok „tűdőmunka” azonban megtette hatását, Copadelmundot a verseny során nem érték utol, fölényes 5 hosszal nyerte a futamot, ezzel élete legjobb formáját futva. A hároméves a 2021-es generálhendikep-lista legmagasabbra értékelt (GHP 73,5) lóva lett korosztályában.

Next Page, aki Danzig-ra beltenyésztett a klasszikus pedigreelemzés alapján kiemelkedő végsebességet és sokoldalúságot (általában gyep-és homokpályán is eredményesek) hordoz magában. A dosage profil, dosage index és a center of distribution alapján is „született miler”, kiegyensúlyozott sebesség-és kitartás

profilal. Ezeket a MSTN genotipizálás eredményei is alátámasztották, a kanca C/T genotípust mutatott. Hároméves szezonja elején negyedik hellyel mutatkozott be a hároméveseknek rendezett, Gd-3 besorolású kiemelt versenyben, a Hazafi Díjban, majd egy második hely következett egy kisebb kategóriás versenyben (IV. kat). Genotípusa és tréningmunkája ellenére Next Page-t hosszú távon is kipróbálta a menedzsment, a 2000 m-es Gd-2 besorolású versenyben 12. helyen végzett. Ezt szintén gyengébb szereplés követte 1400 m-en (IV. kategória), majd az év végéhez közeledve, ismét visszatérve a „miler távhoz” két 1600 m-es versennyel, egy második hellyel és győzelemmel zárta a szezont. GHP 68-as számával a 2021-es generálhendikep-lista harmadik legmagasabbra értékelt kancája lett a korosztályában.

Szigliget pedigreje alapján sprinter és miler felmenőkkel rendelkező, rövidtávra alkalmas, inkább gyors, de nem kiemelkedő végsebességű kanca. MSTN genotípusa alapján sprinter. Kétévesen egyszer futott 1400 m-en, ötödik helyen ért célba. A kifejezetten kistermetű kanca a szezon elején győzelemmel mutatkozott be középtávon (1600 m), majd a menedzsment a siker miatt úgy döntött, ezen a távon is folytatja a versenyzést. A Hazafi Díjban 1600 m-en egy 7. hely következett, majd alacsony kategóriás versenyben (V. kategória) 3. helyezést ért el. Utolsó versenyét júniusban futotta 1600 m-re, ott 8. helyen zárt. A tréning során többször fájdalommal küzdött a kanca, így nyár elején a tulajdonosok kivizsgáltatták. A röntgenvizsgálat olyan fokú „*kissing spine*”-t mutatott, aminek következtében Szigliget befejezte versenykarrierét.

IV. Következtetések és a javaslatok

Munkám kezdetekor arra kerestem a választ, hogy a miosztatin génpolimorfizmus hogyan befolyásolja az egyed karrierét és a várt, legjobb távra való alkalmasságot. Ennek kiderítése először a vizsgált állomány genotipizálásán keresztül vezetett. Az említett vizsgálat végeztével az eredményeket összevettem az adatbázisokból nyerhető versenyadatokkal. Az adatokat a GraphPad InStat, Microsoft Office Excel szoftverekkel, valamint az IBM SPSS Statistics Viewer 23-as verziójával végeztem. A vizsgált lovak mindegyike a Bábolna Nemzeti Ménesbirtok diópusztai ménesében állt, vagy az alagi Versenyló Tréningközpontban volt idomításban. Ötven mintát tovább vizsgálva kiderült, hogy a lovak több, mint felének (64%) igazolta a múltbéli versenykarrierje a genotípusát. A fennmaradó esetek (18 egyed) túlnyomó részében (83%) a telivéreknak nem volt lehetőségük a számukra genetikailag leginkább megfelelő távra futni, vagy túl rövid volt a versenyben eltöltött idejük ahhoz, hogy bizonyítsák az előzetesen várt legjobb versenytávra (BRD) való alkalmasságukat. A kereset, a GHP maximuma, illetve a GHP átlaga között nem volt szignifikáns eltérés a 3 csoport esetében, míg a versenyben eltöltött évek és a GHP átlagok között eltérés mutatkozott a C/T genotípus javára. Ebbe a csoportba tartozó lovak az 1-3. versenyévükben magasabb GHP átlagot értek el, mint a másik két genotípus egyedei. Az eredményeknél az ivart, mint

versenyteljesítményt befolyásoló tényezőt kizártam, ugyanis a ménesben lévő apamének black type lovak voltak, amelyek kiemelkedő képességük révén torzították volna a kapott eredményeket. Az állomány 57%-a volt C/T heterozigóta, 32%-a C/C homozigóta és csupán 11% volt T/T homozigóta. Az allélok megoszlása 60% C/C és 40% T/T volt.

A vizsgált 50 galoppló esetében 18-nál nem egyezett meg a genotípus és a legjobb táv. Ennek oka többek között az volt, hogy 10 egyedet meg sem próbáltak a számára megfelelő távon futtatni pályafutása során, illetve 5 további esetben befejezték 1 vagy 2 versenyév után karrierjüket a telivérek, tehát nem volt elég idejük bizonyítani a versenypályán. A jövőben elsődleges célom egy nagyobb állomány vizsgálata lenne a genotípusok jobb kiegyenlítettsége miatt. Emellett biopsziás izomvizsgálatot is szeretnék végezni az izomrost-típusok arányának meghatározására. Ezen méréseket ki lehetne egészíteni a Momozawa et al. (2005) által leírt etológiai tesztekkel is, melyek segítségével egy komplexebb képet kaphatnánk a sikerességet befolyásoló tényezőkről.

Az UH-vizsgálatok során kapott eredmények megerősítették Hill et al. (2010a, 2010b) megállapításait, amelyek szerint a C/C lovak nagyobb izomtömeggel rendelkező sprinterek, amelyek megnövekedett szívteljesítményt és aerob kapacitást igényelnek. Következésképpen, a C/C telivérek már kétéves korukban is sikeresebb sprinterek, mint a C/T és T/T állatok (Tozaki et al., 2011). Megállapítottuk, hogy a mért kardiális változók összefüggenek a MSTN genotípusokkal. Az aorta átmérője a Valsalva-szinusznál (diastole vége és szisztolé vége) és az aorta átmérője a billentyűnél (szisztolé vége) szignifikáns különbségeket mutatott a C/C és a T/T genotípusok között, ami arra utal, hogy a C/C állatoknál nagyobb lehet a szív teljesítménye és az aerob teljesítőképesség. Eredményeink további kutatások alapjául szolgálhatnak, mivel korábbi irodalmi adatok az MSTN genotípusok izomméretre gyakorolt hatásáról és a szívszerkezetre gyakorolt hatását illetően nem álltak rendelkezésre. A jövőben érdemes a vizsgált paramétereket nagyobb állományon is megismételni, kiegészítve az adatokat spirometriás vizsgálatokkal.

A telivéreknél a test minden részén a cirkuláris szőrforgók dominánsabbak, mint a lineárisak, azonban a legtöbb vizsgált lónak legalább egy lineáris szőrforgója volt. A lovak többségénél a fej tetején alakultak ki kör alakú szőrforgók. Pozitív korrelációt találtunk a barátságosság, a képezhetőség és a cirkuláris szőrforgók száma között. Minél több cirkuláris szőrforgó volt megfigyelhető egy állat testén, annál inkább barátságos, könnyen tréningezhető egyedként tartották számon. A fejen található szőrforgók iránya és a motoros lateralitás közötti összefüggést is bizonyítottuk. Bizonyítékot találtunk arra is, hogy a sárga szín és a viselkedés összefügg, különösen a csikóknál. A sárga szőrszínnel rendelkező lovak vizsgálataink alapján szorongóbbak voltak bármely más színű társaiknál. A sárga szín és a viselkedés között kutatók ugyanakkor korábban is kapcsolatot véltek felfedezni (Jacobs et al., 2016). Minden más tényező, mint például az ivar, a fej felső részén lévő cirkuláris szőrforgók jelenléte, a cirkuláris szőrforgók pontos elhelyezkedése a fejen, a cirkuláris szőrforgók irányultsága, a lineáris szőrforgók

jelenléte és a lábak preferálása nem befolyásolta szignifikánsan a vizsgált személyiségjegyeket.

A jövőben érdemes lenne ezeket a tényezőket nagyobb kísérleti populáción vizsgálni. Fontos előrelépést jelentene a szőrforgók kialakulásának genetikai hátterét megismerni, ill. meghatározni azokat a géneket, amelyek szerepet játszanak ebben a folyamatban.

A tréning módszer tesztelése izgalmas eredményeket hozott, két genotípusnál is szignifikáns javulást értünk el a teljesítmény tekintetében. Az elenyésző egyedszám ($n=3$) miatt azonban ez a vizsgálat inkább egy kitekintés, így további kutatásokat igényel, hogy megerősítsük az eredményeket és bővebb egyedszámmal is alátámasszuk a tréning módszer hatékonyságát. Az itt elért eredmények alapján nem csak hasznos és érdemes lenne nagyobb mintával is megismételni a kísérletet, de célszerű lenne az IT tréninget HRV (szívfrekvencia) – és laktátméréssel, illetve spirometriás vizsgálatokkal is kiegészíteni.

V. Új tudományos eredmények

Elsőként vizsgáltam az MSTN polimorfizmust hazai angol telivéreknél és meghatároztam a genotípusgyakoriságot a hazai állományban (CC– 0,32; CT– 0,57; TT–0,11). Igazoltam, hogy a várt eredményeknek megfelelően a távra való alkalmasság növekedésével az átlagsebesség csökken.

Ultrahangvizsgálat alapján az anconaeus izom hossza és a triceps brachii izom vastagsága szignifikáns különbséget ($p < 0,05$) mutatott a C/C és T/T genotípusok között. A triceps brachii esetében a C/T és a T/T genotípusok között ugyancsak szignifikáns ($p < 0,05$) volt a különbség. A legmagasabb értékek minden esetben a C/C állatok esetében voltak.

A vizsgált MSTN genotípusok között szignifikáns különbségeket állapítottam meg a következő kardiológiai változók között: bal pitvari átmérő, végdiasztolé (LADd), aorta átmérője a billentyűnél, végdiasztolé (ADVd), aorta átmérője a billentyűnél, végszisztolé (ADVs), aorta átmérője a szinusznál, végdiasztolé (ASDd), aorta átmérője a szinusznál, végszisztolé (ASDs), az interventricularis septum diasztolé (IVSd), aorta átmérője a sinotubularis régiónál, végdiasztolé (ASJd). A heterozigóta állatok minden esetben a legmagasabb értékeket mutatták (az előző felsorolás sorrendjében: 11,6, 7,0, 7,4, 8,0, 8,4, 6,5 és 3,4 cm). A homozigóta állatok összehasonlításakor a C/C telivérek értékei meghaladták a T/T genotípust hordozó állatokét.

Megállapítottam, hogy angol telivéreknél a test jobb oldalán elhelyezkedő szőrforgók leginkább az óra járásával megegyező irányúak, míg a test bal oldalán található az óra járásával ellentétesek. A test középső részén (nyakon) található szőrforgók többnyire radiálisak.

Megállapítottam, hogy angol telivéreknél a körkörös/cirkuláris szőrforgók gyakoribbak a lineárisoknál, bár a legtöbb állat rendelkezett legalább egy lineáris szőrforgóval. A cirkuláris szőrforgók leggyakrabban a fejen helyezkedtek el. Pozitív összefüggést állapítottam meg a testen található cirkuláris szőrforgók száma és a barátságosság, ill. tréningezhetőség között.

Igazoltam a szőrforgók iránya és a motoros lateralitás közötti összefüggést angol telivér fajtában. A vizsgálatban az állatok a szőrforgók forgási irányának megfelelő lábukat preferálták.

VI. Publikációk

Idegen nyelvű folyóiratban megjelent lektorált cikkek

Kis, Judit; Rózsa, László; Husvéth, Ferenc; Mezőszentgyörgyi, Dávid; Kovács, Szilvia; Bakos, Zoltán; Zsolnai, Attila; Anton, István (2023). Association of myostatin gene polymorphism with echocardiographic and muscular ultrasonographic measurements in Hungarian Thoroughbred horses. RESEARCH IN VETERINARY SCIENCE 160 pp. 45-49.

Kis, Judit; Rózsa, László; Husvéth, Ferenc; Zsolnai, Attila; Anton, István (2021). Role of genes related to performance and reproduction of Thoroughbreds in training and breeding – A review. ACTA VETERINARIA HUNGARICA 69: 4 pp. 315-323.

Magyar nyelvű folyóiratban megjelent lektorált cikkek

Kis, Judit; Mezőszentgyörgyi, Dávid; Zsolnai, Attila; Rózsa, László; Husvéth, Ferenc; Anton, István (2022). Innovatív genomikai és élettani kutatások az angol telivér állomány versenyteljesítményének fokozása érdekében. SCIENTIA ET SECURITAS 3: 3 pp. 243-249.

Kis, Judit; Bodó, Szilárd; Rózsa, László; Zsolnai, Attila; Anton, István (2019). Molekuláris genetikai lehetőségek az optimális versenytáv és tréning módszer megválasztásához angol telivéreknél. ÁLLATTENYÉSZTÉS ÉS TAKARMÁNYOZÁS 68: 4 pp. 313-329.

Konferenciakiadványban megjelent közlemények magyar nyelven

Kis, Judit; Zsolnai, Attila; Rózsa, László; Husvéth, Ferenc; Bakos, Zoltán; Kovács, Szilvia; Anton, István (2022). A miosztatin génpolimorfizmus, illetve az izom- és kardiovaszkuláris struktúrák összefüggésének vizsgálata angol telivér versenylovakon. In: Molnár, Dániel; Molnár, Dóra (szerk.) XXV. Tavasz Szél Konferencia 2022. Absztraktkötet Budapest, Magyarország: Doktoranduszok Országos Szövetsége (DOSZ) 799 p. pp. 701-702.

Kis, Judit; Husvéth, Ferenc; Rózsa, László; Zsolnai, Attila; Anton, István (2020). A miosztatin génpolimorfizmus felmérése egy hazai angol telivér állományban. In: Bene, Szabolcs (szerk.) XXVI. Ifjúsági Tudományos Fórum Keszthely, Magyarország: Pannon Egyetem Georgikon Kar (2020) Paper: Kis_Judit_6o, 8 p.

Kis, Judit (2020): A miosztatin génpolimorfizmus felmérése hazai angol telivér állományon (Assessment of myostatin gene polymorphism in Thoroughbred horses in Hungary). In: Szakkollégiumi és a tudományos diákköri hallgatók kutatásai, EFOP-3.6.3. -VEKOP-16 -2017-00008. 58-62 p.

Az értekezés témakörén kívül megjelent tudományos ismeretterjesztő közlemények (33 db)

VII. Irodalomjegyzék

- Abdel-Azeem, N.M., Emeash H.H. (2021): Relationship of horse temperament with breed, age, sex, and body characteristics: a questionnaire-based study. Beni-Suef Univ J Basic Appl Sci 10, 45. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43088-021-00133-8>.
- Abe, T., Kumagai, K., Brechue, W.F. (2000): Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. Med. Sci. Sports Exerc. 32 (6), 1125–1129. DOI: <https://doi.org/10.1097/00005768-200006000-00014>.
- Avila, F., Hughes, S.S., Magdesian, K.G., Torres Penedo, M.C., Bellone, R.R. (2022): Breed Distribution and Allele Frequencies of Base Coat Color, Dilution, and White Patterning Variants across 28 Horse Breeds. Genes (Basel). Sep 13;13(9):1641. DOI: 10.3390/genes13091641.
- Chong, K. (2014): Northern Dancer: The Legendary Horse That Inspired a Nation. Penguin Random House Canada, Canada. 304 p.
- Drevemo, S., Fredricson, I., Hjerten, G., McMiken, D. (1987): Early development of gait asymmetries in trotting standardbred colts. Equine Vet. J. 19, 189–191. DOI: 10.1111/j.2042-3306.1987.tb01373.x.
- Encina, A., Ligeró, M., Sánchez-Guerrero, M.J., Rodríguez-Sainz de Los Terreros, A., Bartolomé, E., Valera M. (2023): Phenotypic and Genetic Study of the Presence of Hair Whorls in Pura Raza Español Horses. Animals (Basel) 16;13(18):2943. DOI: 10.3390/ani13182943.
- Finn, J.L., Haase, B., Willet, C.E., van Rooy, D., Chew, T., Wade, C.M., Hamilton, N.A., Velie, B.D. (2016): The relationship between coat colour phenotype and equine behaviour: A pilot study. Appl. Anim. Behav. Sci. 174, 66–69. DOI: 10.1016/j.applanim.2015.11.004.
- Górecka, A., Golonka, M., Chruszczewski, M., Jezierski, T. (2007): A note on behaviour and heart rate in horses differing in facial hair whorl. Applied Animal Behaviour Science, 105(1-3), 244–248. DOI: 10.1016/j.applanim.2006.05.013.
- Grzimek, B. (1968): On the Psychology of the Horse. In: Friedrich, H. (Ed.), Man and Animal Studies in Behaviour. St. Martins Press Inc., New York USA. 144 p.
- Hill, E.W., Gu, J., Eivers, S.S., Fonseca, R.G., McGivney, B.A., Govindarajan, P., Orr, N., Katz, L.M., MacHugh, D.E. (2010a): A sequence polymorphism in MSTN predicts sprinting ability and racing stamina in thoroughbred horses. PLoS One. 2010 Jan 20;5(1):e8645. DOI: 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. Anim. Genet. 41 (s2), 56–63. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2052.2010.02104.x>.

- Jacobs, L.N., Staiger, E.A., Albright, J.D., Brooks, S.A. (2016): The MC1R and ASIP coat color loci may impact behavior in the horse, *J. Hered.*, 2016, vol. 107, no. 3, pp. 214–219. DOI: <https://doi.org/10.1093/jhered/esw007>
- 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. *J. Appl. Physiol.* 88 (3), 811–816. DOI: <https://doi.org/10.1152/jappl.2000.88.3.811>.
- Lima, D.F.P.d.A., da Cruz, V.A.R., Pereira, G.L., Curi, R.A., Costa, R.B., de Camargo, G.M.F. (2021): Genomic regions associated with the position and number of hair whorls in horses. *Animals* 2021, 11, 2925. DOI: 10.3390/ani11102925.
- Long, K.J., Bonagura, J.D., Darke, P.G. (1992): Standardized imaging technique for guided M-mode and Doppler echocardiography in the horse. *Equine Vet. J.* 24 (3), 226–235. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.2042-3306.1992.tb02820.x>.
- McGreevy, P.D., Rogers, L.J. (2005): Motor and sensory laterality in thoroughbred horses. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 92, 337–352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2004.11.012>.
- McGreevy, P.D., Thomson, P.C. (2006): Differences in motor laterality between breeds of performance horse. *Appl. Anim. Behav. Sci.* 99: 183–190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2005.09.010>
- Momozawa, Y., Kusunose, R., Kikusui, T., Takeuchi, Y., Mori, Y. (2005) Assessment of equine temperament questionnaire by comparing factor structure between two separate surveys. *Applied Animal Behaviour Science*, 92(1-2), 77–84. DOI: 10.1016/j.applanim.2004.11.00.
- Momozawa, Y., Terada, M., Sato, F., Kikusui, T., Takeuchi, Y., Kusunose, R., Mori, Y. (2007): Assessing equine anxiety-related parameters using an isolation test in combination with a questionnaire survey. *J. Vet. Med. Sci.* 69(9):945-50. DOI: 10.1292/jvms.69.945
- Murphy, J., Arkins, S. (2008): Facial hair whorls (trichoglyphs) and the incidence of motor laterality in the horse. *Behav. Processes* 79, 7–12. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2008.03.006>.
- Sackman, J.E., Houpt, K.A. (2018): Equine Personality: Association With Breed, Use, and Husbandry Factors. *J. Equine Vet. Sci.* Vol. 72, p. 47-55, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2018.10.018>.
- Shivley, C., Grandin, T., Deesing, M. (2016): Behavioral Laterality and Facial Hair Whorls in Horses. *J. Equine Vet. Sci.* 2016, 44, 62–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jevs.2016.02.238>
- Tozaki, T., Sato, F., Hill, E.W., Miyake, T., Endo, Y., Kakoi, H., Gawahara, H., Hirota, K., Nakano, Y., Nambo, Y., Kurosawa, M. (2011): Sequence variants at the myostatin gene locus influence the body composition of Thoroughbred horses. *J. Vet. Med. Sci.* 73(12).1617-24. DOI: 10.1292/jvms.11-0295
- Warren-Smith, A., McGreevy, P. (2010): The use of pedometers to estimate motor laterality in grazing horses. *J. Vet. Behav.: Clinical Applications and Research*, 5(4), 177–179. DOI:10.1016/j.jveb.2009.12.023
- Willems, M., Hennocq, Q., de Lara, S.T., Kogane, N., Fleury, V., Rayssiguier, R., Santander, J.J.C., Requena, R., Stirnemann, J., Khonsari, R.H. (2023): Genetic determinism and hemispheric influence in hair whorl formation. *J Stomatol. Oral Maxillofac. Surg.* 31;125(2):101664. DOI: 10.1016/j.jormas.2023.101664.
- Yokomori, T., Tozaki, T., Mita, H., Miyake, T., Kakoi, H., Kobayashi, Y., Kusano, K., Itou, T. (2019): Heritability estimates of the position and number of facial hair whorls in Thoroughbred horses. *BMC Res. Notes*, 12, 346, DOI: 10.1186/s13104-019-4386-x.
- 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* 24 (4), 634–638. DOI: <https://doi.org/10.1002/elps.200390074>.