

HIPPOTERÁPIÁS LOVAK LÉPÉS JÁRMÓDJÁNAK KINEMATIKAI VIZSGÁLATA KÜLTÉRI KÖRÜLMÉNYEK KÖZÖTT

JÁMBOR PÉTER – BOKOR ÁRPÁD – STEFLER JÓZSEF

ÖSSZEFOGLALÁS

Jelen munka keretein belül kidolgozták a lépés jármód kültéri körülmények között történő video-felvételre alapozott mintavételezésének módszertanát (marker, kalibrálás, kamerák beállításai). Vizsgálatot végeztek a kidolgozott kalibrálási módszer ismételhetőségének megbízhatóságára vonatkozóan. Ennek érdekében 5 lovat filméztek, egymás után kétszer kalibrálva a mozgásteret, összesen 5–5 ismételéssel. A felvételeket APAS (Ariel Performance Analysis System) mozgáselemző szoftverrel elemezték, majd a vizsgált időbeni és lineáris kinematikai változókat statisztikailag is értékelték, mely során lovak közötti szignifikáns ($p < 0,01$) különbségeket tapasztaltak az alátámasztási-, lendítési és mozgásciklus időtartamokban, a lépés frekvenciában, illetve a lépés-, mozgásciklus hossz és a túllépés mértéke tekintetében. Ugyanazon lovat összehasonlítva egyetlen változó esetén sem tapasztaltak szignifikáns különbséget a megismételt két kalibrálás között, illetve magas determinációs együtthatókat (időbeni változók: $R^2 = 0,93–0,95$, lineáris változók: $R^2 = 0,85–0,87$) kaptak. Eredményeik arra utalnak, hogy lehetőség van kültéri viszonyok között is kellő megbízhatósággal videotechnikára alapozott mozgáselemzést végezni.

SUMMARY

Jámbor, P. – Bokor, Á. – Stefler, J.: KINEMATIC STUDIES OF THE FREE WALK IN DIFFERENT HIPPOThERAPEUTIC HORSES UNDER OUTDOOR CONDITIONS

In the present study, the method of outdoor video recording of the walk (marker, calibration, camera set-up) was worked out. The reliability of repeatability of calibration method was measured. 5 horses were filmed with 5–5 repeated measures, calibrating the moving field twice in a row. The films were analyzed with APAS (Ariel Performance Analysis System), then statistical analyses were performed with the measured temporal and linear kinematic variables showing significant ($p < 0,01$) difference between horses in stance-, swing-, stride duration, stride rate, step-, stride- and over-tracking length. Analysing the same horse, significantly different kinematics variables were not found between calibrations, and the coefficients of determination (temporal variables: $R^2 = 0,93–0,95$, linear variables: $R^2 = 0,85–0,87$) were positively high respectively. Results show that the developed measurement technique allows of reliable gait analysis even with outdoor filmrecording.

BEVEZETÉS

Az utóbbi évtizedek számítástechnikai forradalmának köszönhetően kibővültek a lehetőségek a mozgás minőségének objektív elbírálására. A legújabb, és az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer, a videofelvételen alapuló mozgáselemzés, ami a jármódok olyan apró részleteinek vizsgálatát is lehetővé teszi, amire az emberi szem már nem képes (*Petrovics és mtsai*, 2006). A kinematikai elemzés során a mozgás időbeni, lineáris és szögelfordulási jellemzőit határozzák meg, az azokat okozó erőket figyelmen kívül hagyva (*Barrey*, 1999). Ezek a módszerek a videó grafikát elemező szoftverek alkalmazásán alapulnak, melyek segítségével lehetővé válik a digitális kamerával rögzített mozgássor részletekre kiterjedő és objektív elemzése (*Clayton és Schamhardt*, 2000). A digitális videógrafikára alapozott elemzést az állattenyésztés gyakorlata még széleskörűen nem használja. Alaputatás szinten, többnyire laboratóriumi körülmények között, futószalagon, a lovak különböző jármódjainak kinematikai leírása megtörtént, illetve egyes állatorvosok rutinszerűen alkalmazzák a módszert a sántaság diagnosztikában (*Wennerstrand és mtsai*, 2004). A módszer hasznosítása más állatfajokban is felmerült, így pl. szarvasmarhák testméretének értékelésére és a viselkedési minták (temperamentum teszt) jellemzésére is alkalmaztak videókép-analízist (*Tőzsér és mtsai*, 2000).

Nyilvánvaló, hogy az egyes hasznosítási irányokban, más-más mozgáskarakterisztikát tartanak kívánatosnak. A kívánatos mozgáskarakterisztikákat a legtöbb hasznosítási irányban feltárták. A fiatal lovak objektív minősítése ebben a tekintetben a belovaglások, tréningek előtt, vagy akár már a csikókorban, jelentős gazdasági haszonnal járhatna.

A galoppversenyeken a maximális galopp sebesség legfőképpen a mozgásciklus hosszától és a mozgásciklus frekvenciájától (mozgásciklus/perc) függ. *Clayton* (2003) kifejti, hogy az a telivér érheti el a hosszabb mozgásciklust, amelyik a vágta lebegő fázisát képes nyújtani. A mozgásciklus frekvencia a támaszkodási és lendítési időtartamtól függ. A sebesség növekedésével, a vágta során mindegyik láb alátámasztási időtartama csökken (<100 ms, a mozgásciklus <23%-a), miközben a lendítés időtartama csak kis mértékben változik (340 ms, a mozgásciklus 77%-a). A rövidülő támaszkodási időtartam következtében a ló sokkal erősebben rugaszkodik el a talajról.

Díjlovaglás esetén a különböző szerzők egyetértenek abban, hogy a bírók magas jármód pontszámot azoknak a lovaknak adnak, melyek hosszú mozgásciklussal és lassú mozgásfrekvenciával mutatják be programjukat (*Back és mtsai*, 1994; *Holmström és mtsai*, 1994). Melegvérű díjlovak átlagos mozgásciklus frekvenciája 55 mozgásciklus/perc lépésben, 80 mozgásciklus/perc ügetésben és 100 mozgásciklus/perc vágásban (*Clayton*, 1994a; 1994b; 1995). A jó minőségű nyújtott ügetés lassú mozgásciklus frekvenciával (83 mozgásciklus/perc) és hosszú lebegő fázissal (37 ± 3 ms) jellemezhető. A hátulsó és az átlós elülső láb talajérintése között eltelt idő, a diagonális talajérintés egyidejűségével jellemezhető, mely kívánatos, ha pozitív és minél nagyobb (16 ± 5 ms), mely szerint a hátulsó láb, valamivel hamarabb ér talajt, mint az elülső. Előnyös, ha a ló hátulsó lábait, minél inkább maga alá tudja helyezni (hátulsó lábközép talajérintéskori – talajjal bezárt – szöge $59,6^\circ \pm 0,7$) (*Clayton*, 1994a). Az ügetés nyújtásához fontos tényezőknek

tűnik a dőlt lapocka és a könyök ízület minél nagyobb fokú amplitúdója. Akkor kap jó bírálatot az ügetés, ha a lebegő fázis kezdetekor a könyök és lábtő ízület minél hajlítotabb. *Back és mtsai (1994)* tanulmánya rámutatott, hogy az ügetés lebegő fázisának időtartama, a lábak lengésének terjedelme, illetve a csánk ízület maximális hajlítottsága esetén, a 4 és 24 hónapos korban végzett vizsgálatok eredményei jól korrelálnak.

Újabb közlemények (*Bobbert és mtsai, 2005; Jónás, 2008*) arról számolnak be, hogy már csikókorban felismerhetők olyan specifikus ismertetőjegyek a szabadonugrás során, amelyek alapján előre jelezhető a ló felnőttkori ugróteljesítménye. Az idézett szerzők vizsgálataikban a jó és a rossz ugrótechnikát mutató csoportokat hasonlították össze. Eredményeik szerint ezeknek az állatoknak az ugróstílusában szignifikáns különbségek vannak, amelyek már csikókorban megfigyelhetők. A jól ugrók esetében az első láb akadály fölötti átvitelekor a súlypont alacsonyabbnak (jól ugrók: $1,76 \text{ m} \pm 0,05$; rosszul ugrók: $1,82 \text{ m} \pm 0,09$), az első lábak pedig jobban rövidülnek bizonyultak (jól ugrók: $0,53 \text{ m} \pm 0,02$; rosszul ugrók: $0,58 \text{ m} \pm 0,03$) a könyök- (jól ugrók: $1,51 \text{ rad} \pm 0,11$; rosszul ugrók: $1,68 \text{ rad} \pm 0,12$), ill. a vállízület (jól ugrók: $1,88 \text{ rad} \pm 0,06$; rosszul ugrók: $1,96 \text{ rad} \pm 0,07$) nagyobb mértékű hajlításának köszönhetően. A hátulsó láb akadály feletti átvitelének pillanatában ezen lovak súlypontja messze az akadályon túlra esik (jól ugrók: $1,23 \text{ m} \pm 0,11$; rosszul ugrók: $1,08 \text{ m} \pm 0,16$), mivel az állatok a hátulsó lábaikat az akadály felett nagymértékben kinyújtják hátrafelé. Ezek a különbségek a legtöbb esetben már csikókorban is megfigyelhetők. További megfigyelések (*Bobbert és mtsai, 2005*) szerint a jól ugró lovaknak, az akadálytól történő elrugaszkodási távolsága kisebb szórást mutat, mint rosszul ugró társaiké, ami arra enged következtetni, hogy a jól ugró lovak jobban becsülik meg az elugráshoz szükséges távolságot.

Az eddig megismert összefüggésekre alapozva *Jónás, (2008)* olyan mozgáselemzési módszert dolgozott ki, amely infrastrukturális elemeivel és mérési beállításával alkalmas az ugróképeség korai - a csikók egy éves életkora körüli - becslésére.

A hippoterápiában (mozgássérültek lovasterápiája), kiemelt jelentőségű a lépés jármód minősége, hiszen az ülőfelület (a ló hátának legmélyebb pontjánál lévő, két hosszú hátizom terület) mozgáskarakterisztikája a mozgásátvitel kulcsponja.

Ideálisnak mondható az az ülőfelület mozgás, mely a páciens medencéjére olyan mozgásimpulzusokat közvetít, mely leginkább hasonlít a páciens egészséges járásképe esetén mozgó medenceöv mozgásmintázatához. *Matsuura és mtsai (2008)* különböző testalakulású hippoterápiás lovak mozgását vizsgálták, a lovas medencéjén rögzített gyorsulásmérővel. Megállapították, hogy a kilengések frekvenciája lépésben és ügetésben is magasabb volt ($p < 0,01$) az alacsonyabb ($1,91 \pm 0,121 \text{ Hz}$ lépésben, $3,02 \pm 0,186 \text{ Hz}$ ügetésben), mint a magasabb marmagasságú lovak esetén ($1,68 \pm 0,081 \text{ Hz}$ lépésben, $2,66 \pm 0,160 \text{ Hz}$ ügetésben). A függőleges kilengés, lépésben kisebbnek ($p < 0,05$) bizonyult a szélesebb lovaknál ($14,4 \pm 2,20 \text{ mm}$), mint a keskenyeknél ($18,8 \pm 4,48 \text{ mm}$).

Minden ember individuális mozgásmintázattal rendelkezik, ezért a terápiában különböző mozgású lovakra van szükség. A legtöbb hippoterápiával foglalkozó helyen igyekeznek ezért heterogén loállománnyal dolgozni, hogy a különböző érinthetőségű, testsúlyú és magasságú páciensek egyedi igényei kielégíthetők legyenek.

nek. Ennek a törekvésnek a megvalósítása érdekében a terápiában felhasznált ló-állományt hippoterápiás szempontból kell lehetőség szerinti, minél objektívebben értékelni (Jámbor és mtsai, 2009).

A mozgáselemzés széles körű hasznosítását megelőzően nagy figyelmet kell szentelni az alkalmazott módszer megbízhatóságára, hiszen a vizsgálati módszerek jelentősen eltérhetnek egymástól. Az elemzések lehetnek két, illetve háromdimenziósak attól függően, hogy a kamerák a tér csak két, vagy mindhárom irányából alkalmasak az információgyűjtésre. A mintavételezés – a digitális felvétel készítésére használt kamera sebességének függvényében – különböző frekvencián történhet, valamint végezhető futószalagon, illetve természetes körülmények között. Eltérések tapasztalhatók továbbá a markerek típusa és az általuk jelölt anatómiai pontok tekintetében is (Emmerich, 2002).

Nagyobb állományok futószalagon történő vizsgálata nehezen kivitelezhető. Az is zavarja a megítélést, hogy a futószalagon mutatott mozgás nem tükrözi pontosan a terepen nyújtott teljesítményt. Erre utal Buchner és mtsai, (1994). aki. különbségeket tapasztalt lovak mozgásában a futószalagon és a normál kültéri körülmények között készített felvételek eredményeinek összehasonlítása során. A kültéri mintavételezési módszer, áttörést jelenthetne a szelekciós munkában, de jelenleg még nem kiforrott és számos nehézséget kell megoldani, a megfelelő minőségű videófelvétel készítésével kapcsolatosan. Vizsgálatunk e törekvések sorába illeszkedik.

Célunk, egy olyan objektív, a gyakorlat számára is használható mintavételezési eljárás és mozgáselemző módszer kidolgozása, mely nemcsak a lótenyésztői munka (szelekció) és a sántaságdiagnosztika számára nyújthat hatékony segítséget, hanem lehetővé tehetné a különböző hasznosítási irányok (pl.: verseny, sport, hippoterápia) által megkövetelt mozgáskarakterisztikák, lehetőség szerint, minél korábbi életkorban történő, üzemi körülmények között is kivitelezhető vizsgálatát. E tanulmány elkészítése során, a lépés jármód mintavételezésére koncentráltunk. Ellenőriztük, hogy kifejlesztett módszerünk ismételhetősége megfelelő-e, illetve a meghatározott paraméterek mennyire alkalmasak az eltérő felépítésű és tulajdonságú lovak lépés jármódjának elkülönítésére.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A felvételeket a Lovasterápia a Fogyatékkal Élőkért Egyesület lovas-iskolájában készítettük.

Lovak

Vizsgálatainkat 5, hippoterápiára rendszeresen használt lóval végeztük. A lovak jellemzőit az 1. táblázatban foglaltuk össze. Átlag életkoruk 14 év (8 és 19 év között), mindegyik állat minimum két éve aktívan részt vesz hippoterápiás munkában, a felvételek készítése alatti procedúrához (markerezés, futófolyosóban mozgás) kellően hozzászoktak.

1. táblázat

Vizsgálatban szereplő lovak jellemzői

Ló neve (1)	Ivar (2)	Fajta (3)	Kor (év) (4)	Hippo- terápiá- ban töltött idő (év) (5)	Ülőpont magas- ság (cm) (6)	Könyök magas- ság (cm) (7)	Külső csípő- szöglet magas- ság (cm) (8)	Könyök- külső csípő- szöglet horizon- tális tá- volsága (cm) (9)
1. Beni	herélt (10)	Angol telivér (12)	8	2	152,8	91,1	141,3	87,9
2. Cicó	kanca (11)	Magyar félvér (13)	12	6	149,2	91,0	128,4	88,5
3. Konyi	herélt	Gidrán (14)	19	6	153,6	87,0	136,7	98,9
4. Piki	herélt	Magyar sportló (15)	12	5	157,9	93,6	136,1	93,0
5. Szanti	herélt	Magyar félvér (13)	19	6	148,5	81,6	133,7	99,5

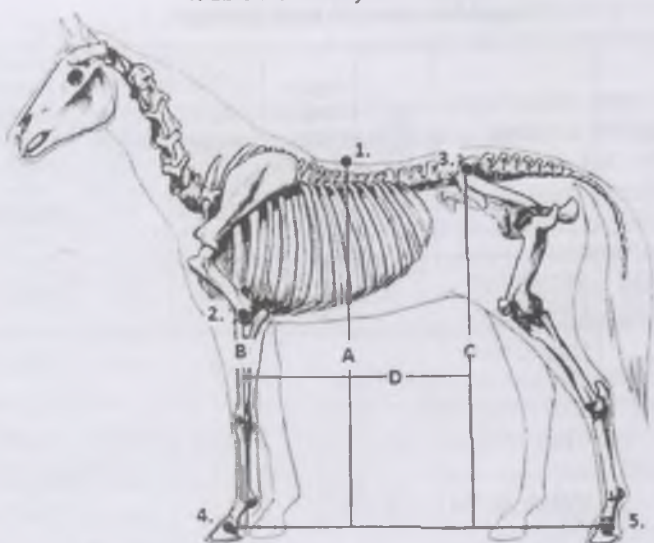
Table 1. Parameters and proportions of analysed horses

name of the horse (1); sex (2); breed (3); age(4); work in hippotherapy (years) (5); sitting point height (cm) (6); elbow height (cm) (7); tuber coxae height (cm) (8); sitting point – tuber coxae horizontal distance (cm) (9); neuter (10); mare (11); Thoroughbred (12); Hungarian Half-bred (13); Gidran (14); Hungarian Warmblood (15)

A vizsgált lovak testméretei közül azokat vettük figyelembe, melyek a hippoterápia szempontjából indokoltak. A méreteket az elkészített felvételekről – az elemzés többi fázisában is használt - APAS (1998) mozgáselemző program segítségével határoztuk meg. A lótenyésztésben hagyományosan használt marmagasság, övméret, szárkör-méret, (Bodó, 1998) helyett olyan méreteket használtunk, melyek a hippoterápia szempontjából indokoltak és az adott kinematikai rendszerben, a vizsgált markerek segítségével könnyedén meghatározhatóak. A testméreteket azon a képkockán mértük, amelyen a bal első és hátsó paták alátámasztási fázisban vannak. A méretek a következők voltak (1. ábra):

- **ülőpont magasság:** a bal ülőpont (a hát legmélyebb része) és a bal első pata szegélyének felezőpontja között mért vertikális távolság, cm-ben kifejezve
- **könyök magasság:** a bal könyök és a bal első pata szegélyének felezőpontja között mért vertikális távolság, cm-ben kifejezve
- **külső csípőszöglet magasság:** bal külső csípőszöglet és a bal első pata szegélyének felezőpontja között mért vertikális távolság, cm-ben kifejezve
- **könyök – külső csípőszöglet horizontális távolsága:** a bal könyök és a bal külső csípőszöglet között mért horizontális távolság, cm-ben kifejezve

1. ábra Markerhelyek és testméretek



Ülőpont magasság (A); könyök magasság (B); külső csípőszöglet magasság (C); könyök-külső csípőszöglet távolsága (D); 1. bal ülőpont; 2. könyök; 3. külső csípőszöglet legalsó pontja; 4–5. a paták szegélyének felezőpontja oldalnézetben

Figure 1. Body proportions and marker points

sitting point height (A); elbow height (B); tuber coxae height (C); elbow – tuber coxae distance (D); 1. left sitting point; 2. lateral epicondyle of the humerus (elbow); 3. tuber coxae distal part (distal tuber coxae); 4–5. midpoint of the periople of the hoof (hoof)

Bemelegítés

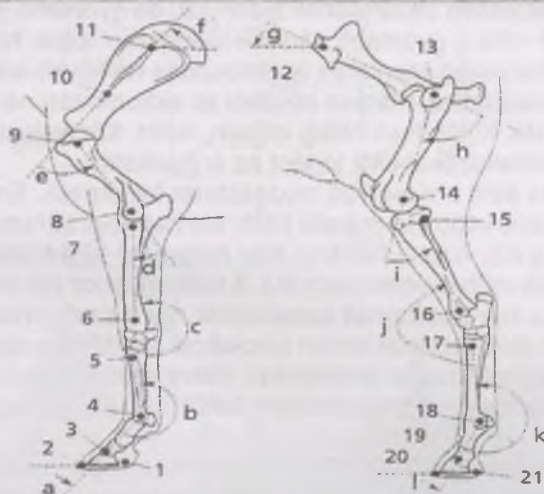
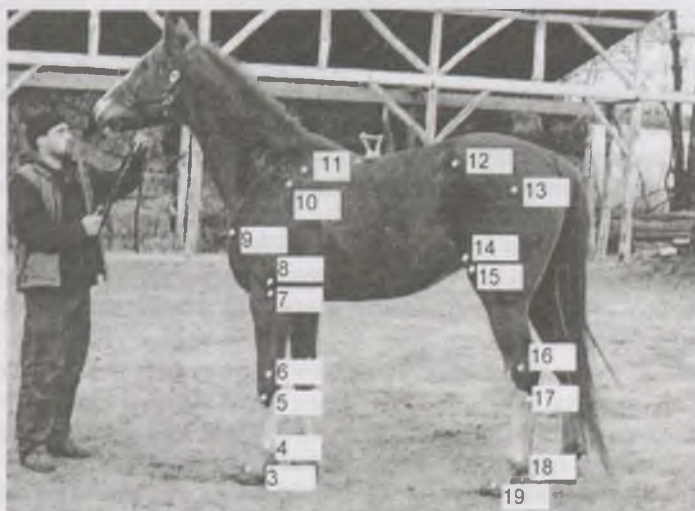
A vizsgálat megkezdése előtt a lovakat bemelegítették 30 perc nyereg alatti munkával, a markerezés csak ezután következett. A felmarkerezett lovakat több ízben, a felvételek készítése nélkül felvezették a kialakított villanypásztor szalaggal határolt mozgástérben, hogy a lovak hozzászokhassanak a vizsgálati körülményekhez. A felvételek elkészítésekor a lovakat, megszokott vezetőjük (az a személy, aki a terápiás foglalkozásokon vezeti a lovat) vezette fel szabad lépésben.

Markerezés

A markerezés során a mozgás érzékelése szempontjából jelentős ízületi pontokat, 2 cm átmérőjű dekor hungarocel golyók és kétoldalú öntapadós ragasztócsíkok segítségével jelöltük meg, illetve tettük láthatóvá a videofelvételek számára. A fehér gömb alakú markerek segítik a későbbi szoftveres elemzést, mivel a kontrasztthatás következtében, az egymást követő képkockákon követhetővé válnak a jelölt anatómiai pontok. A felvételeken egységes kör felületnek látszódnak, illetve a mozgás során is tartósan a lovakon maradnak és a mintavételezés után jelentős szórvesztés nélkül eltávolíthatóak.

Az ízületi markerpontokat Barrey (2001) nyomán jelöltük ki a 2. ábrán látható módon.

2. ábra Kinematikai vizsgálatokhoz általánosan használt markerhelyek az elülső ill. a hátulsó végtagokon (Barrey, 2001)



1. sarokfal; 2. hegyfal; 3. a szegély felezőpontja oldalnézetben; 4. a harmadik lábközépcsont lábvégi része; 5. a harmadik lábközépcsont testközeli vége; 6. az orsócsont külső vesszőnyúlványa; 7. könyökcsúsz; 8. a karcsont külső gumója; 9. az oldalsó karcsonti gumó farki vége; 10. a lapocka tövisének lábvégi része; 11. a lapocka tövisének testközeli vége; 12. külső csípőszöglet; 13. a nagyforgató feji vége; 14. a combcsont ízületi bütyke; 15. a sípcsont bütykén lévő lapos ízületi felület; 16. külsőboka; 17. a hátulsó lábközép testközeli vége; 18. a hátulsó lábközép lábvégi része; 19. a szegély felezőpontja oldalnézetben; 20. hegyfal; 21. sarokfal

Figure 2. Commonly used skin marker placement for kinematic analysis and calculation of the forelimb and the hindlimb (Barrey, 2001)

hoof at the heel region(1); hoof at the toe region(2); hoof at coronary band(3); distal metacarpus(4); proximal metacarpus(5); distal radius at lateral styloid process(6); proximal radius at collateral ligament elbow(7); distal humerus at lateral epicondyle(8); proximal humerus at caudal greater tubercle(9); distal scapular spine(10); proximal scapular spine(11); tuber coxae(12); proximal femur at cranial greater trochanter(13); distal femur at lateral epicondyle(14); proximal tibia at fibular head(15); distal tibia at lateral malleolus(16); proximal metatarsus(17); distal metatarsus(18); proximal tibia at fibular head(19) distal femur at lateral epicondyle(20); proximal femur at cranial greater trochanter(21)

Kamerák pozícionálása, beállítása, kalibráció, mintavételezés

A lovak mozgássíkjától 30 m-re, két álló DV kamerát (Sony, DCR TRV 30E) helyeztünk oly módon, hogy a kamerák és a mintavételi hely síkja egy háromszöget alkotott. A 160 cm magasságú állványokra helyezett kamerákat manual focus üzemmódban, egyenként kézzel élesítettük a kalibrációs ketrec által határolt mozgástérre úgy, hogy a zoomolás során a kamera látómezőjében a kalibrált mozgástér előtt és után egy-egy méter még látható legyen. A kamerák kiválasztásánál az alábbi paraméterekre voltunk tekintettel:

- képképzés minősége (min. 1 Mpix.): a későbbi videóanyag feldolgozása szempontjából kiemelt fontosságú, hogy a markerpontok bevitele során milyen a képkockák minősége. Minél élesebbek a felvételek, annál könnyebbé és pontosabbá válik a munka a kiértékelés során.
- optikai zoom nagysága (min. 20 szoros): a nagy optikai zoom azért fontos, hogy a kamerákat minél távolabb pozícionálhassuk a kalibrált mozgástértől, képminőség romlása nélkül (a digitális zoom rontja a képfelbontást), annak érdekében, hogy a torzító hatásokat minimalizálhassuk.
- állítható zársebesség (min.: 1/50–1/2000): a lépés jármód követéséhez az 1/250 s zársebesség alkalmasnak bizonyult, de gyorsabb jármódok esetén szükségessé válik a gyorsabb zársebesség használata, hogy a különösen a patákon elhelyezett markerek is elmosódás nélkül követhetők legyenek. A kamerák elektromos ellátása céljából az akkumulátort nem tartottuk elég megbízhatónak, különösen hideg időben, ezért közvetlenül az elektromos hálózatról csatlakozókábellel történt az áramellátás.

A mintavételezés előtt a vizsgálati mozgásteret kalibráltuk. Erre a célra a mérőhelyen egy 160×200×400 cm méretű kalibráló ketrecet állítottunk fel (3. ábra) (A kalibráló ketrec a KE, Állattudományi Kar, Nagyállat-tenyésztési és Termelés-technológiai Tanszék műhelyében készült.). A kalibráláshoz pár másodperces felvételt készítettünk a már pozícionált kamerákkal. Így a szoftveres elemzés során a kalibráló ketrecen lévő csúcsok ismert távolságai koordináta rendszerként szolgálnak, melynek segítségével számértékkel, illetve mértékegységgel rendelkező paraméterként kifejezhetők a mozgástéren belül lévő markerpontok aktuális elmozdulásai.

A kalibráló ketrec eltávolítása előtt, a talajon megjelöltük a ketrec oldalvonalait, hogy a mozgásteret pontosan a kalibrált térrel megegyező helyen alakíthassuk ki. A 160 cm széles és 400 cm hosszúságú nyomvonalat úgy jelöltük ki, hogy oldalanként két-két földbe szúrható, tüskés hegyű, műanyag karó segítségével, kifeszítettünk egy-egy villanypásztor szalagot. A 400 cm-es hossz mindenképpen elegendő egy lépés mozgásciklus vizsgálatához, hiszen még a díjlovak nyújtott lépésének mozgásciklus hossza is 200 cm alatt van (193 cm, Clayton, 1995), így két teljes lépés ciklus befér.

A kamerákhoz a beállítások után már kézzel nem értünk, távirányítót használtunk, mert a kézzel történő felvételindítás, kamera-elmozdulást eredményezhetett volna. A felvételek készítése előtt szükséges a lovak farkát felkötni, hogy az elemzésekkor az ne takarhassa el a hátulsó lábon lévő marker pontokat.

A mintavételezés során a felmarkerezett öt lóról, kézből vezetve, lépés jármódban, öt ismétléssel felvételeket készítettünk 1/250 s zársebességek alkal-

mazása mellett. A felvezető mindig a ló előtt haladt, hogy ne takarja egyik markert sem és igyekezett a ló által felkínált, szabad lépést elősegíteni, nem rángatva a felvezető szárat.

A felvételek készítésekor, az ismétlések előtt egy személy sorszámot mutatott fel, mindkét kamerának, annak érdekében, hogy a felvételek elemzése során könnyebben eligazodhassunk. A mintavételezés alkalmával nem szükséges szinkronjel beiktatása, mert a felvételek vágásakor szinkron pontnak választható az a képkocka, amikor a ló tisztán érinti a talajt, valamelyik patájával és az állat már a kalibrált mozgástérben tartózkodik.

3. ábra Kalibrációs ketrec

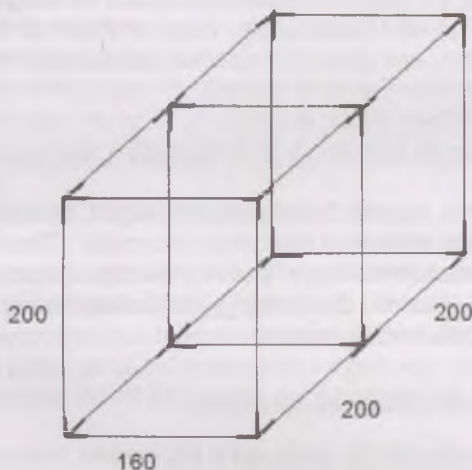


Figure 3. Calibration frame

Videó felvételek elemzése

A felvételek elemzését a SOTE, Testnevelési és Sporttudományi Kar, Biomechanika Tanszékén végeztük Ariel Performance Analyse System (APAS) típusú mozgáselemző szofverrel.

Mint az várható volt, nem tudtunk a szoftver kínálta automatikus markerbevitellel élni, mert kültéri körülmények között nem készíthető olyan minőségű videó felvétel, ahol elegendő kontraszthatás érvényesülne a marker és a környezete (ló szőre) között. A fél-automata markerbevitelhez azonban megfelelő képminőséget eredményezett a mintavételezési eljárásunk. A félautomata rendszer esetén, az első képkockán az operátor jelöli ki a markerek helyét. A következő képkockán a kurzor automatikusan oda ugrik, ahol azt, az előző képkocka alapján kiszámolta majd az operátor jelöli ki a végleges helyét a pontnak. Ez meglehetősen időigényes feladat, ugyanis a 1,5–2 s hosszúságú videó anyagot (2 kamera $\times$ 75–100 képkocka $\times$ 21 markerpont), egy gyakorlott szoftver felhasználó kb.: 1,5–2 óra alatt képes feldolgozni. Ennek ellenére kellő számú, minimálisan 5 ismétlés (felvételsorozat) készítése, szükséges annak érdekében, hogy az ismétlések közötti esetleges sebességekülönbségek ellenére a lóra leginkább jellemző mozgáskarakterisztikát nyerhessük.

A szoftver a két kamera, azonos hosszúságúra vágott, összetartozó kétdimenziós felvételeit a kalibrációs adatokkal összetranszformálja (Direkt Lineáris Transzformáció, DLT), annak érdekében, hogy háromdimenziós információt kaphassunk a markerpontok elmozdulásairól. Ezek után szűrtük adatainkat, a markerbevitel alatt jelentkező magas frekvenciás zajoktól.

Az időbeni változók vizsgálatának módszertana

A különböző időbeli változók (2. táblázat) a képkockák mennyiségi elemzésével követhetők. Az időtartam másodpercben is kifejezhető a képkockák mennyisége és a kamera mintavételezési frekvenciájának (50 képkocka/s = 50 Hz) hányadosával (Európa PAL rsz., mely 50 Hz-es). A képkockák mennyiségi elemzése során attól a képkockától kezdtük számítani a alátámasztási fázist, amint a pata először érintkezett a talajjal, illetve addig a képkockáig amikor az adott pata már semmilyen részével nem érintkezett a talajjal. Ettől a képkockától a lendítési fázis kezdetét számoltuk. A megfelelő fázisokban, meghatároztuk képkockák mennyiségét. Vizsgáltuk mindegyik lónál, külön-külön az egyes lábak lendítési, illetve alátámasztási időtartamát is, melyek összeadásával a mozgásciklusok időtartama kiszámítható.

Miután kiszámoltuk lábanként a mozgásciklusok időtartamát, meghatároztuk a vezetett ló által felkínált lépés ütemét (frekvenciáját), azaz a percenkénti mozgásciklusok számát (lépés frekvencia = 60s/mozgásciklus időtartama).

A lineáris változók vizsgálatának módszertana

A vizsgálatok során a markerpontok elmozdulásainak megfigyelésére és leírására törekedtünk. A lineáris változókat, azaz a különböző markerpontok cm-ben mért elmozdulásait, az APAS Display modul segítségével számítottuk ki.

2. táblázat

Vizsgált időbeni változók

Időbeni változók (1)	Meghatározásuk (2)	Mértékegység (3)
Alátámasztási időtartam (4)	Az, az időtartam, amíg a pata a talajjal érintkezik. (8)	db képkocka, vagy ms. (12)
Lendítési időtartam (5)	Az, az időtartam, amíg a pata a talajjal nem érintkezik. (9)	db képkocka, vagy ms. (12)
Mozgásciklus időtartam (6)	Támaszkodási időtartam + lendítési időtartam. (10)	db képkocka, vagy ms. (12)
Lépés frekvencia, vagy ütem (7)	Adott időegység alatti (percenkénti) mozgásciklusok száma. (11)	mozgásciklus/perc (13)

Table 2. Measured temporal variables

temporal variables (1); definition (2); unit (3); stance duration (4); swing duration (5); stride duration (6); stride rate or tempo (7); the time during which the hoof is in contact with the ground (8); the time during which the hoof is not in contact with the ground (9); stance duration + swing duration (10); the number of strides performed during a certain period of time (usually one minute) (11); number of frames or sec (12); strides/min (13)

A lineáris változók (3. táblázat) közül mértük a lépéshosszokat az elülső és hátsó paták kontralaterális helyeződései között (BH-JH, JH-BH, BE-JE, JE-BE), a mozgásciklus hosszokat és a túllépés nagyságát. A túllépés értéke negatív előjelű volt, ha a hátsó pata, az elülső patanyom mögött volt, nulla, ha a hátsó láb pont az elülső patanyomba lépett és pozitív, ha a hátsó láb az elülső láb patanyoma elé lépett.

3. táblázat

Vizsgált lineáris változók

Lineáris változók (1)	Meghatározásuk (2)	Mértékegység (3)
Lépéshossz (4)	Az egymást követő két elülső, vagy hátsó lábak patanyomai közötti távolság. (7)	cm
Mozgásciklus hossz (5)	Ugyanazon láb egymás után következő patanyomai közötti távolság. (8)	cm
Túllépés mértéke (6)	Az elülső patanyom és az azt követő azonos oldali hátsó láb patanyomai közötti távolság. (9)	cm

Table 3. Measured linear variables

linear variables (1); definition (2); unit (3); step length (4); stride length (5); over-tracking length (6); distance between successive hoof prints of the two front or hind limbs (7); distance between successive ground contacts (hoof prints) of the same hoof (8); distance between a front hoof print and the succeeding hoof print of the lateral hind hoof (9)

A mintavételezés ismételhetőségének ellenőrzésére irányuló vizsgálat módszertana

Az időbeni változók nem lehetnek teljesen azonosak, hiszen a ló minden egyes felvezetésre egy kicsit más-más iramú (sebességű) lépést kínál fel, annak ellenére, hogy a lóvezető igyekszik ugyanazzal a sebességgel haladni. A megfelelő mintavételezési eljárás kidolgozása után, vizsgáltuk a kézből történő felvezetés és a kalibrálási módszer ismételhetőségét.

Úgy készítettünk felvételeket, hogy a lovakat a bemelegítés után felmarkereztük, a kamerákat pozícionáltuk, majd a mozgásteret kalibráltuk és öt ismétléssel felvételeket készítettünk mind az öt lóról. Ezek után a markereket a lovakon hagytuk, de a kalibrációs ketrecet elmozdítottuk, a kamerákat újra pozícionáltuk és újra kalibráltuk a mozgásteret, majd újabb öt ismétléssel felvételeket készítettünk mindegyik lóról. Így a kalibráláson túl, minden kísérleti beállítást állandóvá tettünk, így tisztán, csak a kézből történő felvezetésből és a kalibrálásból eredő hibákat vizsgálhattuk (4. táblázat).

4. táblázat

Kísérleti beállítás

Vizsgálat célja (1)	Kalibráció során lovanként vizsgált mozgásciklusok száma (db) (2)	Kalibráció során lovanként vizsgált mozgásciklusok száma (db) (3)
Kalibrálás ismételhetőségének vizsgálata (4)	5	5

Table 4. Experimental design

aim of the study (1); number of measured strides in the first calibration by horses (2); number of measured strides in the second calibration by horses (3); examination of repeatability of calibration (4)

Adatok elemzése

Az adatokat eloszlását SAS 9.1 (2004) statisztikai programcsomag segítségével elemeztük. Általános lineáris modell (GLM) felhasználásával vizsgáltuk a lovak ismételt felvett mozgásciklusainak különbségét, illetve az egyedek közötti különbségeket. Mivel néhány ló esetében nem állt rendelkezésre minden ismétlésben minden adat, ezért korrigált átlagokat (legkisebb négyzetek elve) használtunk az elemzés során. A modellben függő változóként szerepelt a vizsgált mozgásciklus, függetlenként pedig az egyed, illetve a kalibrálás kódszáma. A modellek futtatása előtt a függő változók normalitásvizsgálatát Shapiro-Wilk, Kolmogorov-Smirnov, Cramer-von Mises és Anderson-Darling teszttel végeztük. Nem minden esetben jelzett normál eloszlást mind a négy teszt eredménye, azonban legalább az egyik minden esetben igazolta azt.

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A mintavételezési eljárás ismételhetőségére irányuló vizsgálat eredményei

A két kalibrálás alkalmával lovanként az 5–5 mozgásciklus adataiból meghatároztuk az időbeni és lineáris változókat leíró statisztikát (átlag, szórás). Ezután a kétszeri kalibrálás során kapott időbeni és lineáris kinematikai változókat összehasonlítottuk, minden egyes lónál, külön-külön. A 4. ábrán a mozgásciklus időtartam alakulása látható, kalibrálásonkénti és lovankénti összehasonlításban.

4. ábra Két kalibrálás alkalmával mért átlag mozgásciklus időtartamok (db képkocka) alakulása lovanként

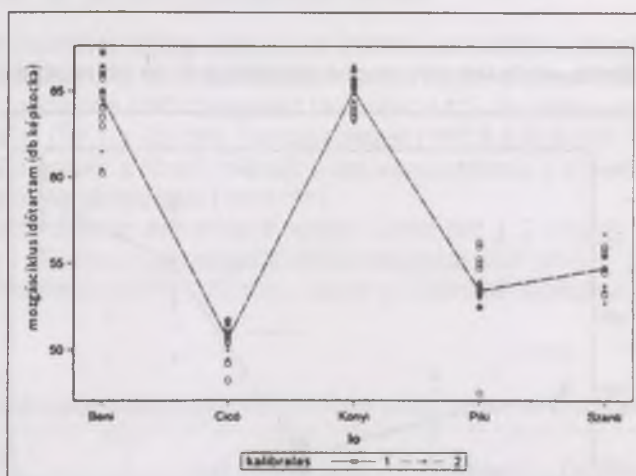


Figure 4. Means of the stride duration by horses for comparison the two calibration. x axle: name of horses, y axle: stride durations (number of frames)

A 4. ábrán látható, hogy bár az öt ló mozgásciklus időtartamainak átlagai lovanként, egyes esetekben jelentősen eltérnek egymástól, de a két felvezetés-sorozat alkalmával mért átlagokat összekötő egyenesek (folytonos és szaggatott) egybe esnek. Hasonló tendenciát figyeltünk meg a többi időbeni változó esetén is, melyek további összefüggéseit az 5. táblázat szemlélteti. Látható, hogy a két felvezetés-sorozat (kalibrálás) alkalmával meghatározott időbeni változók átlagai, szignifikánsan nem különböztek egymástól ($p = 0,54–0,90$) és emellett magas determinációs együtthatókat ($R^2 = 0,93–0,95$) becsltünk.

Ezután a kétszeri kalibrálás során kapott lineáris kinematikai változók átlagait is összehasonlítottuk, minden egyes lónál külön-külön. Az 5. ábrán a mozgásciklus hosszok alakulása látható, kalibrálásonkénti és lovankénti összehasonlításban. Itt is megfigyelhető, hogy bár az öt ló mozgásciklus hosszainak átlagai lovanként, egyes esetekben jelentősen eltérnek egymástól, de a két felvezetés-sorozat (kalibrálás) alkalmával mért átlagokat összekötő egyenesek (folytonos és szaggatott) egybe esnek. Ezt a megállapítást támasztják alá a 6. táblázat adatai is.

5. táblázat

Ismételt kalibrálás hatása a vizsgált öt ló időbeni kinematikai mozgás paramétereire, szabad lépésben

Kinematikai paraméter (1)	n	R	P _{value}
Alátámasztási időtartam (2)	50	0,94	0,54
Lendítés időtartam (3)	50	0,93	0,90
Mozgásciklus időtartam (4)	50	0,95	0,80
Lépéshfrekvencia (5)	50	0,94	0,86

Table 5. Repeated calibration effect on the temporal variables of the measured horses in free walk kinematic parameter (1); stance phase duration (2); swing phase duration (3); stride duration (4); stride rate (5)

5. ábra Két kalibrálás alkalmával mért átlag mozgásciklus hosszok (cm) alakulása lovanként

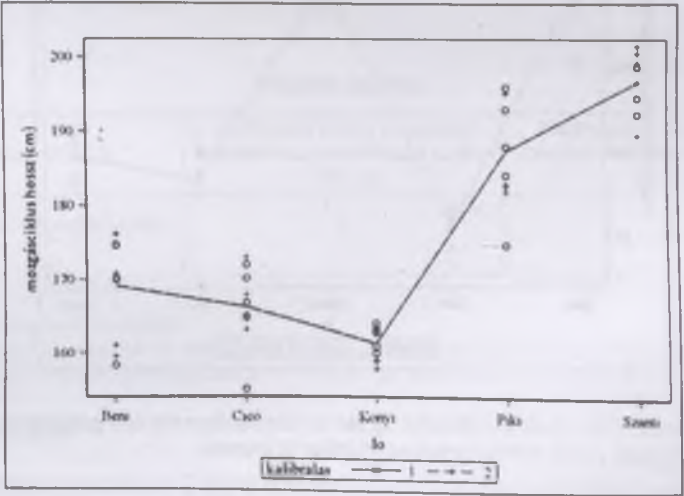


Figure 5. Stride length by horses for comparison the two calibration.
x axle: name of horses, y axle: stride length (cm)

A 6. táblázatban jól látható, hogy a két kalibrálás alkalmával meghatározott lineáris változók átlagai, szignifikánsan nem különböztek egymástól ($p=0,60-0,94$) és magas determinációs együtthatókat ($R^2 = 0,85-0,87$) becsültünk.

Csak 48 mozgásciklust tudtunk statisztikailag elemezni, mert az 5. ló, a 2. felvezetés-sorozat alkalmával elsietett, amit csak a felvételek elemzésekor vettünk észre, így csak 4 értékelhető felvezetést nyertünk ($2 \text{ kalibrálás} \times (4 \times 5 + 1 \times 4) = 48$).

Mivel ugyanazon lovakat összehasonlítva, a vizsgált kinematikai változók, kalibrálásonkénti átlagai között, nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget, feltételezzük, hogy az ismételt kalibrálás nem befolyásolja a mért kinematikai változókat.

6. táblázat

Ugyanazon öt ló két kalibrálás alkalmával mért lineáris kinematikai paramétereinek eredményei

Kinematikai változó (1)	n	R	P _{value}
Lépéshossz (2)	48	0,87	0,83
Mozgásciklus hossz (3)	48	0,86	0,94
Túllépés (4)	48	0,85	0,60

Table 6. Repeated calibration effect on the linear variables of the measured horses in free walk kinematic parameter (1); step lenght (2); stride lenght (3); over-tracking length (4)

Lovak közötti kinematikai különbségek vizsgálata

A leíró statisztikákat (átlag, szórás) az időbeni és lineáris változók esetében lovaként kiszámoltuk (7. és 8. táblázat). A lovak között a kinematikai változók tekintetében szignifikáns különbségeket találtunk. Az 5. ló produkálta az átlag leghosszabb lépést ($98,1 \pm 28$ cm), mozgásciklust ($196,4 \pm 4,3$ cm), illetve túllépést ($27,2 \pm 2,7$) és ennek a lónak mértük a leghosszabbnak a könyök-külső csípőszöglet horizontális távolságát (99,5 cm).

A 3. ló produkálta az átlag legrövidebb lépést (83 ± 2 cm) és mozgásciklust (161 ± 2.2 cm), illetve a leghosszabb átlag alátámasztási (814 ± 12 ms) és mozgásciklus időtartamot (1301 ± 21 ms), illetve a legkisebb lépésfrekvenciát ($46,1 \pm 0,7$ db/perc).

7. táblázat

Vizsgált lovak szabad lépésének időbeni paramétereit leíró statisztikája

Ló neve (1) Változó (2)	1. Beni	2. Cicó	3. Konyi	4. Piki	5. Szanti
Alátámasztási időtartam átlag (3) (ms) $\pm$ SD	$781^a \pm 67$	$603^b \pm 14$	$814^c \pm 12$	$633^d \pm 26$	$655^e \pm 16$
Lendítési időtartam átlag (4) (ms) $\pm$ SD	$512^a \pm 21$	$409^b \pm 10$	$487^c \pm 10$	$435^d \pm 10$	$439^d \pm 10$
Mozgásciklus időtartam átlag (5) (ms) $\pm$ SD	$1239^a \pm 88$	$1013^b \pm 19$	$1301^a \pm 21$	$1069^c \pm 36$	$1094^c \pm 24$
Lépés frekvencia átlag (6) db/perc $\pm$ SD	$46,5^a \pm 1,5$	$59,3^{b\pm} 1,2$	$46,1^a \pm 0,7$	$56,2^c \pm 2$	$54,8^d \pm 1,1$

Az értékek az átlagot és az SD-t szemléltetik. Az indexben szereplő betűk a szignifikánsan különböző ($p < 0,01$) értékeket jelölik.

Table 7. Descriptive statistics for the temporal variables in the measured horses in free walk Values are mean and SD. Different superscripts indicate values that are significantly different ($p < 0.01$). name of the horse (1); parameter (2); stance phase duration (3); swing phase duration (4); stride duration (5); stride rate (6)

8. táblázat

Vizsgált lovak szabad lépésének lineáris paramétereit leíró statisztikája

Ló neve (1) Változó (2)	1. Beni	2. Cicó	3. Konyi	4. Piki	5. Szanti
Átlag lépéshossz (3) (cm) $\pm$ SD	85,9 ^a $\pm$ 3	84,7 ^{ab} $\pm$ 2,1	83 ^b $\pm$ 2	95,5 ^c $\pm$ 2,4	98,1 ^d $\pm$ 2,8
Átlag mozgásciklus hossz (4) (cm) $\pm$ SD	169,2 ^a $\pm$ 7,0	166,2 ^a $\pm$ 10,3	161 ^b $\pm$ 2,2	187 ^c $\pm$ 7,3	196,4 ^d $\pm$ 4,3
Átlag túllépés (5) (cm) $\pm$ SD	8,5 ^a $\pm$ 2,6	7,7 ^a $\pm$ 3,7	9 ^a $\pm$ 3,1	19,9 ^b $\pm$ 4,2	27,2 ^c $\pm$ 2,7

Az értékek az átlagot és az SD-t szemléltetik. Az indexben szereplő betűk a szignifikánsan különböző ($p < 0,01$) értékeket jelölik.

Table 8. Descriptive statistics for the linear variables in the measured horses in free walk

Values are mean and SD. Different superscripts indicate values that are significantly different ($p < 0.01$). name of the horse (1); parameter (2); step length (3); stride length (4); over-tracking length (5)

KÖVETKEZTETÉSEK

Eredményeink szerint a lovak videotechnikával meghatározott mozgásparaméterei, terepi viszonyok között megismételt mérések után szignifikánsan nem különböznek egymástól, viszont az egyedek közötti különbségek markánsan kimutathatóak voltak a különböző kinematikai paraméterek tekintetében. Ez az eredmény arra utal, hogy a lovak videofelvételekre alapozott mozgáselemzéséhez nem szükséges laboratóriumi, vagy zárttéri körülményeket biztosítani, egységes metodika esetén ezek terepi körülmények között a szabadban is elvégezhetők. Sorozatvizsgálatokkal előállított helyszíni mérésekre – kellő ismételtes esetén – bátran támaszkodhatunk. Az állatok kinematikai jellemzői egyedspecifikusak, erősen determináltak (determinációs együtthatók $R^2 = 0,51-0,87$). Ez reménykeltő abban a tekintetben, hogy a módszer segítségével egy populáció egyedei a kívánatos cél, ill. hasznosítás tekintetében objektíven kategorizálhatóak.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A szerzők ezúton mondanak köszönetet a SOTE, Testnevelési és Sporttudományi Kar, Biomechanikai Tanszékének és személy szerint Tihanyi József professzornak hogy lehetővé tette a Tanszék laboratóriumában a videofelvételek kiértékelését.

IRODALOM

- APAS (Ariel Performance Analysis System) (1998): SOTE, Testnevelési és Sporttudományi Kar, Biomechanikai Tanszék, Budapest
- Back, W. – Barneveld, A. – Bruin, G. – Schamhardt, H.C. – Hertman, W.(1994): Kinematic detection of superior gait quality in young trotting warmbloods. *Vet. Quart.* 16. S91–96.
- Barrey, E.(1999): Methods, Applications and Limitations of Gait Analysis in Horses. *Vet. J.*, 157. 7–22.
- Barrey, E.(2001): Inter-limb coordination. In: *Equine Locomotion.* (Szerkesztők): Back, W. – Clayton, H.M., Harcourt Publishers Limited, Edinburgh, UK, 384.
- Bobbert, M.F. – Santamaría, S. – van Weeren, P.R. – Back, W. – Barneveld, A.(2005): Can jumping capacity of adult show jumping horses be predicted on the basis of submaximal free jumps at foal age? A longitudinal study. *Vet. J.*, 170. 212–221.
- Bodó I.(1998): A ló anatómiája. In: *Lótenyésztők kézikönyve*, Szerk.: (Bodó I. – Hecker W., Mezőgazda Kiadó, Budapest, 430.
- Buchner, H.H.F. – Savelberg, H.H.C.M. – Schamhardt, H.C. – Merkens, H.V. – Barneveld, A.(1994): Kinematics of treadmill versus overground locomotion in horses. *Vet. Quart.*, 16. 87–90.
- Clayton H.M.(1994a): Comparison of the stride kinematics of the collected, medium, and extended trot in horses. *Equine Vet. J.*, 26. 230–234.
- Clayton H.M.(1994b): Comparison of the collected, working, medium, and extended canters. *Equine Vet. J.*, 17. 16–19.
- Clayton H.M.(1995): Comparison of the stride kinematics of the collected, medium, and extended walks in horses. *Am. J. Vet. Res.*, 56. 849–852.
- Clayton H.M. (2003): The dynamic horse. A biomechanical guide to equine movement and performance. Sport Horse Publications, Mason, 188.
- Clayton, H.M.– Schamhardt, H. C.(2000): Techniques for gait analysis. *Equine Locomotion.* W. B. Saunders Company, London, 193–226.
- Emmerich, M.(2002): Dreidimensionale Ultraschallmessung zur Bewegungsanalyse beim Pferd auf dem Laufband. Dissertation, Hannover
- Holmström, M. – Fredricson, I. – Drevemo, S.(1994): Biokinematic differences between riding horses judged as good and poor at the trot. *Equine Vet. J.*, 17. 51–56.
- Jámbor P. – Bokor Á. – Györgypál Z. – Németh K. – Rétháti Gy. – Darvas C. – Stefler J. (2009): A hippoterápiára alkalmas ló értékmérő tulajdonságai, *Lovas Nemzet*, XV., 4. 34–36.
- Jónás S. (2008): Mozgáselemzés módszerének kidolgozása gidrán csikók ugróképességének előrejelzésére. (Az ugróstílus és ugróképesség összefüggései a csikók 1 és 3 éves korában.) Doktori értekezés, Kaposvár
- Matsuura, A. – Ohta, E. – Ueda, K. – Nakatsuji, H. – Kondo, S. (2008): Influence of Equine Conformation on Rider Oscillation and Evaluation of Horses for Therapeutic Riding. *J. Equine Sci.*, 19. 9–18.
- Petrovics E. – Jámbor P. – Bokor Á. – Hecker W. – Stefler J.(2006): A ló mozgásának objektív elemzési lehetősége, és főbb kinematikai jellemzői, *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 55.5. 431–449.
- SAS Institute Inc. (2004): SAS/STAT® User's Guide, Version 9.1. SAS Institute Inc., Cary, NC.
- Tózsér J. – Sutta J. – Bedő S. (2000): Videókép-analízis alkalmazása a szarvasmarhák testméretének értékelésében. *Állattenyésztés és Takarmányozás*, 49. 385–392.
- Wennerstrand, J. – Johnston, C. – Roethlisbergerholm, K. – Erichsen, C. – Eksell, P. – Drevemo, S.(2004): Kinematics evaluation of the back in the sport horse with back pain. *Equine Vet. J.*, 36. 707–711.

Érkezett: 2011. február

Szerzők címe: Jámbor P. – Bokor Á. – Stefler, J
Kaposvári Egyetem, Állattudományi Kar, Nagyállat-tenyésztési és Termelőstechnológiai Tanszék

Authors' address: University of Kaposvár, Faculty of Animal Sciences,
Department of Large Animal Breeding and Production Technology
H-7400 Kaposvár, Guba S. u 40.