

## A LÓ ANATÓMIAI SAJÁTOSSÁGAINAK ÖSSZEFÜGGÉSE A LÓ TELJESÍTMÉNYÉVEL

SÓTONYI PÉTER

### ÖSSZEFOGLALÁS

A szerző megismerteti az olvasóval a ló mozgásszerveinek statikáját és dinamikáját. Végigvezeti azt az egyes testrészeken és testtájakon. Ennek függvényében elemzi azokat a nyomás/lökés viszonyokat, amelyek a ló mozgása során a talajra és onnan visszahatnak. A mozgató idegpályák fejlődésének bemutatásával magyarázatot ad a ló már korai és későbbi kitűnő, harmonikus mozgására. A ló mozgásának elemzésével elegendő információ nyerhető a használatnak, a tenyészcélnek leginkább megfelelő alkatú egyedek kiválasztásához. A kinetikus mozgásbírálathoz speciális kamerákkal a ló mozgása ugrás közben is vizsgálható, és a mozgó lóról kétdimenziós formában jelek továbbíthatók számítógépbe, amit egy program háromdimenziós koordináta rendszerben jelenít meg. A ló statikájának és kinetikájának ismeretében a fiatal állatok vizsgálatával előre jelezhető akár a felnőttkori teljesítmény is. Az eljárás egyelőre inkább a mozgásszervi és idegrendszeri betegségben szenvedő állatok szelektálása nagyobb biztonságú.

### SUMMARY

*Sótonyi P.:* RELATIONSHIP BETWEEN ANATOMICAL FEATURES AND PERFORMANCE OF THE HORSE

The author familiarizes the reader with the statics and dynamics of the complete locomotors system of the horse, analyzing the pressure/push relationships which act on the ground and back from it during the movement of the horse. The author explains the early and later excellent and harmonic locomotion of the horse by presenting the development of the motor nerve tract. Enough information can be obtained through the analysis of the locomotion of the horse to select the most appropriate horses for utilization and breeding goals. The locomotion of the horse during jumping can be analysed with special cameras during the kinetic movement analysis and two dimensional images can be forwarded to a computer from the moving horse. Afterwards, this captured data is presented using a program in a three dimensional co-ordinate system. By obtaining horse-specific knowledge of the statics and kinetics of the locomotion of a horse, the adult performance of the horse in question can be predicted, based on the examination conducted at the horse's younger age. Presently, the selection of horses on the bases of locomotion and nervous system illnesses is more reliable by using this method.

A ló mozgásának tanulmányozásához, meg kell ismernünk mozgásszerveinek statikáját és dinamikáját. A páratlan ujjú patás állat, amelynek csak egy uja, a középső, harmadik ujj fejlődött ki, az ujjhegyén áll. A három ujjperc megtalálható, az utolsó a patacsont, azt követi a pártacsont, majd a csüdcsont. Az itt lévő ízület csüdízületnek nevezzük. A lábközépcsontok hosszúak, egy fő és egy külső és belső csőkevényes lábközépcsont fejlődött ki, amelyeket kapocscsontnak nevezünk. Az ember csuklójának, illetve bokájának megfelelő lábtő- és csánk- vagy bokaízület magasabbra került. Az alkarcsontok a mellső végtagon redukálódtak. A könyökcsont és az orsócsont összenő. A hátsó végtagon egy erős nagy sípcsont és egy kis szárkapocscsont található, amely a nevét onnan kapta, hogy a római korban a tógát ezzel kapcsolták össze. A térd és a könyök is a törzshöz közel található. A mellső végtagon az alkarcsontok és a lábközépcsontok egy oszlopot képeznek, e fölött előrefele irányul a karcsont, szöveget bezárva az alkarcsontokkal, és ugyancsak hátrafelé nyíló szöveget a lapockával. Ugyanígy a combcsont a medencecsonttal (*Fehér, 2000; König és Liebich, 2009; Wissdorf és mtsai, 2010*). A vállízületnél nem találunk kulcscsontot, mely a törzshöz rögzítené a mellső végtagot. A lónak hosszú háta van, hátcsigolyáinak száma 18, ágyékcsgigolyáié 6, egyes fajtáknak, például az arab lovaknak csak 5. A csontok, különösen a lábközép- és az ujjperccsontok rendkívül nagy szilárdságúak, több száz kilogrammos nyomásnak is ellenállnak (*Back és mtsai, 1993*).

A statika kiindulópontja a test súlypontjának vagy tömegközéppontjának a meghatározása, amely a lóban a lapátos porc mögött, a törzs alsó és középső harmadának a határán található (1. ábra) (*König és Liebich, 2009*).

1. ábra: A súlypont és az alátámasztás

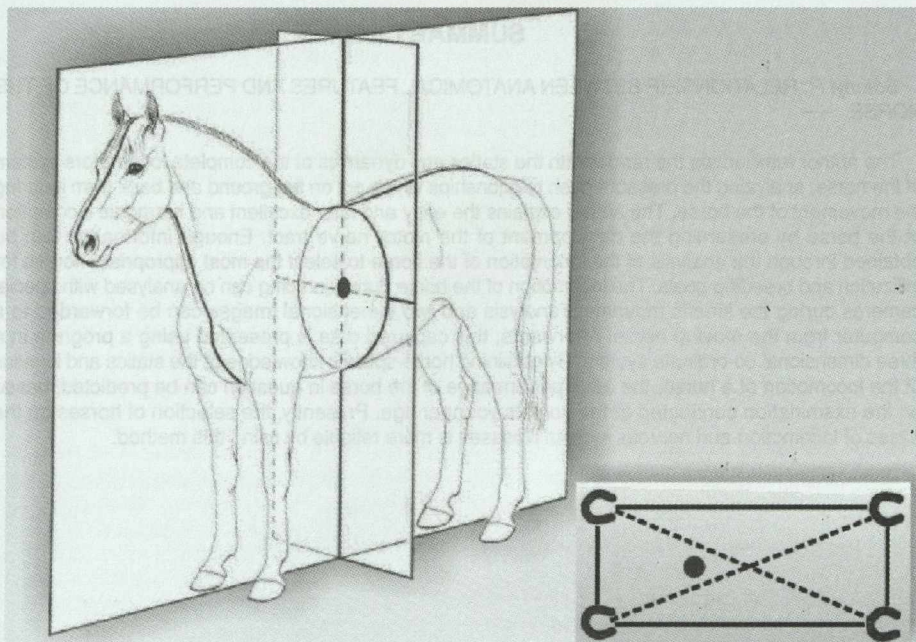


Fig. 1.: The centre of gravity and the substantiation

A súlypont hátrább tolódik, ha az állat felemeli a fejét, vagy kinyújtja a farkát, illetve, ha a gyomor és a bélcsatorna telt, vagy, ha az állat vemhes. Előbbre helyeződik, ha az állat lehajtja a fejét és nyakát, vagy ha a bélcsatorna üres. A ló fejének mozgatásával mintegy 4 cm-rel képes előbbre, illetve hátrább helyezni a súlypontját (Mitchelson, 1988; Back és Clayton, 2001). A súlypont helye a nyereg elhelyezése, illetve teherhordó állatok esetében a súlyelosztás szempontjából is fontos. A négy lábvéget összekötő egyenesek által határolt négyszögletű terület az állat alátámasztási felülete, amely az emberhez viszonyítva igen nagy, és a súlypont is közelebb helyeződik a talajhoz. Az állat mindaddig egyensúlyban marad, amíg a súlypontból vont függőleges éri az alátámasztási felületet (Mitchelson, 1988). A súlypontból vont függőleges a négy lábat átlósan összekötő egyenesek metszési pontja elé esik. Részben ez az oka, hogy a négy lábon álló állatok egyensúlyi helyzetükből előre és oldalt könnyebben kimozdíthatók. Mindebből következik az is, hogy a törzs súlya a négy végtagot nem egyenletesen terheli. Az elülső végtagra esik a test súlyának nagyobb része, lóban kb. 57%-a (Fehér, 2000).

## A FEJ A NYAK ÉS A TÖRZS STATIKÁJA

A fej és a törzs csontos vázból, ízületekből, szalagokból és statikus-statodinamikus működésű izmokból álló szerveinek rendszere kétkonzolos, rácsos-ívhúros hídhoz hasonlítható (König és Liebich, 2009). A híd pilléreit az elülső és hátulsó végtagok alkotják. A törzs statikus váza a két végtag között kifeszülő parabolikus rácsszerkezetű hídív (2. ábra).

2. ábra: A törzs statikus rendszere, a híd szerkezet

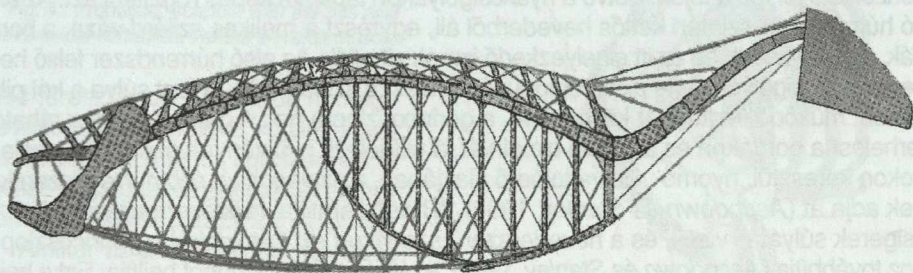


Fig. 2.: The static system of the body, the bridge-like

A fej és a nyak, illetve a keresztcsont és a farok a híd ívéhez kapcsolódó szalagok útján rögzített elülső és hátulsó konzoloknak felelnek meg. Az elülső konzolnak megfelelő fej és nyak mozgékonyabb, mint a hátulsó, keresztcsontból és farokból álló konzol. A rácsos híd vázát, ami az úttestnek felel meg, a csigolyák rostos, porcos, ízületi és szalagos összeköttetései, vagyis a hajlékony gerincoszlop képezi. A gerincoszlop ívét a fölötte és alatta elhelyezkedő húrrendszerek feszítik ki, rögzítik (3. ábra).

## 3. ábra: A törzs csontjaihoz illesztett izmok és szalagok által alkotott húrrendszer

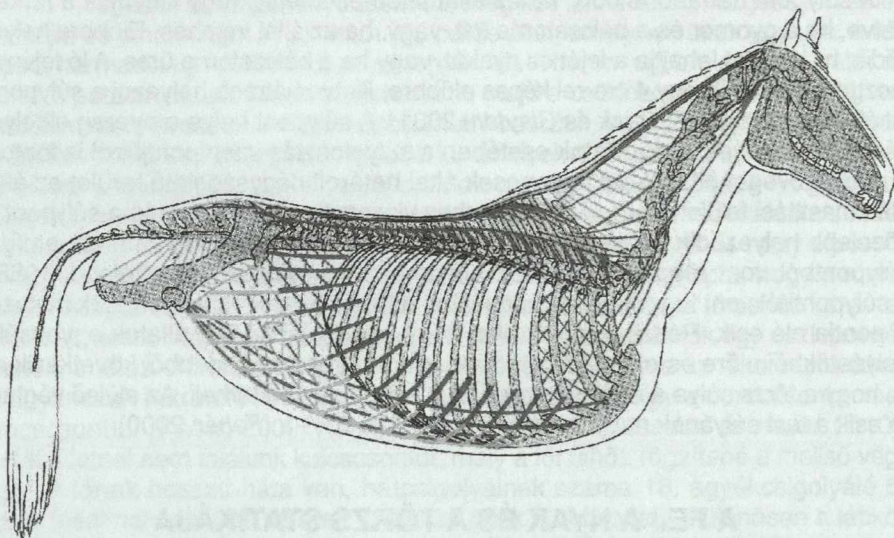


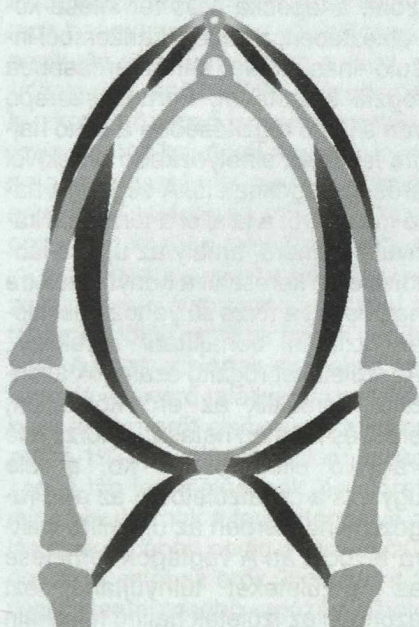
Fig. 3.: The string system created from the muscles and taenia fitting to the bones of the body

A gerincoszlop fölött elhelyezkedő húrrendszer kettős hevederből áll. A közvetlenül a csigolyatestek közelében elhelyezkedő alsó hevedert a csigolyaívek, az oldalsó és tövisnyúlványok, illetve a közöttük lévő szalagok alkotják. A felsőhevedert a csigolyák tövisnyúlványai fölött végighúzódnó szalag képezi. Ez a szalag előrefele az elülső konzol felé tér, és a fejen, illetve a nyakcsigolyákon tapadva képes rögzíteni azt. Az alsó húrrendszer szintén kettős hevederből áll, egyrészt a mellkas szilárd váza, a bordák, a szegycsont, és az itt elhelyezkedő izmok alkotják. Az alsó húrrendszer felső hevederét a csigolyák teste alatt végighúzódnó hosszú szalag adja. A test súlya a két pilléreként működő végtagpár közötti ívre, a gerincoszlopra hat. A gerincoszlop a ráható terhelést a bordákon és a hasfal izmain át, a csigolyák nyúlványait összekötő szalagokon keresztül, nyomó-, illetve tolóerő alakjában, a szalagokból álló húrrendszereknek adja át (Aschdown és Stanley, 1998). A hasfal statikai rendszere ugyanakkor a zsigerek súlyát is viseli, és a hevederszerű szerkezet ezt kétoldalról a gerincoszlophoz továbbítja (Aschdown és Stanley, 1987), ezáltal a gerincoszlopot hajlíttja. Ezt a hajlítást azonban a felső húrrendszer akadályozza, azaz az alsó húrrendszert terhelő zsigerek súlyát a felső húrrendszer is viseli. A zsigerek súlyát viselő húrrendszer egy olyan függőágyhoz hasonlítható, ami két végtaghoz, valamint a mellkas szilárd váza és a hasfal izmai révén, kétoldalt a gerincoszlophoz is rögzítve van (Wissdorf és mtsai, 2010).

## AZ ELÜLSŐ VÉGTAG STATIKÁJA

A végtagok mozgékony, többszörös szöget képező emelőrendszerhez hasonlíthatók. Az előrehaladó mozgásban a végtagok alátámasztó és előrelendítő emelőként működnek, a hátsó végtagok a mozgás motorjai. A törzs tömegének nagy része az elülső végtagokra esik (König és Liebich, 2009). A két mellső végtag közé a törzs az

**4. ábra: A törzs rugalmas felfüggesztése a mellő végtagokhoz, a test súlyának nagy részét, a lapockát a bordákkal és a nyakcsigolyákkal összekötő alsó fűrészsízmom viseli**



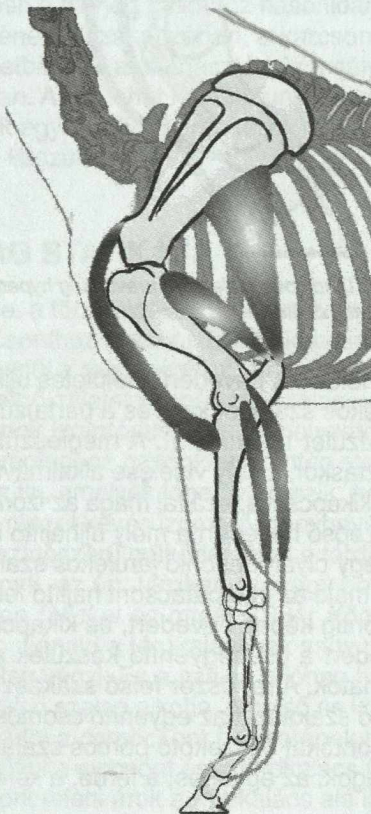
*Fig. 4.: Frontlimb, scapula with the ribs and with cervical vertebrae, ventral serratus muscle*

alsó fűrészsízmom keresztül, mintegy hevederbe belefeküdve, rögzül. Mivel háziállatainknak nincs kulcscsontja, a mellő végtag teljes egészében izmosan kapcsolódik a törzshöz (4. ábra).

Amikor az állat a talajra helyezi a végtagjait, a végtag csontjainak láncolata két egyenlő nagyságú, de ellenkező irányú erő hatása alá kerül. Az egyik a törzs súlya, a másik a talajtól a törzs felé irányuló ellenhatás. A két ellentétes irányú erő az ízületeket hajlíttaná. Az erők találkozási pontja a karcsont területére esik. A mellő végtagon egy felső és egy alsó rugózó rendszert különíthetünk el. A felső rugózó rendszerhez a vállízület és a könyökízület, az alsó rugózó rendszerhez a csüdízület, a pártá- és a pataízület tartozik.

A lapockára ható törzsúly a vállízületet behajlítani igyekszik. Az ízület előtt haladó, hevederszerűen működő kétfejű karizom a hajlítás hatására megfeszül, és egyfelől erős, szinte porcos inával ellennyomást gyakorol a vállízület csúcsára, másfelől a lapockára gyakorolt húzó hatásával rögzíti a vállízületet (Wissdorf és mtsai, 2010). Amíg a végtag a törzs súlyát viseli, a könyökízület nyújtott állapotban van, a kétfejű karizom megfeszül, a karcsont belefekszik az izomba, mint hevederbe. A test súlyának, mint lefele irányuló erőnek a hatását a kétfejű karizom rögzítő hatásán kívül, az ujjhajlító, valamint a lábtőhajlító izmok karcsonton eredő fejeinek statikus ereje is rögzíti (5. ábra).

**5. ábra: Az elülső végtag rugózó működése**



*Fig.5.: The spring-like operation of the fore limb*

6. ábra: Az ujjízületek túlnyújtását megakadályozó, inakból álló hármashéveder



Fig. 6.: Tendinous triple gurt, preventing hyperextension of the digits

A lábtő rögzítése közvetett, a kétfejú karizomból ered egy inas köteg, ami a lábtőnyújtó izomhoz tér. Minél erősebben feszül tehát a kétfejú karizom, a lapocka erős terhelése következtében, a kétfejú karizomból induló inas köteg annál erősebben rögzíti a lábtövet. Fontos szerepe van a lábtő rögzítésében a lábtő hajlító felületén elhelyezkedő rendkívül erős szalagoknak is. A végtagra ható másik erő, a talajtól a törzs felé irányuló ellenerő, amely az ujj- és lábtőízületen keresztül a könyökízületre hat, és azt a törzs súlyához hasonlóan szintén behajlítani igyekszik. Az ízületeket rögzítő szalagok azonban mérséklék az erő közvetlen, erős, és hirtelen hatását. A törzs felé irányuló ellenerőknek kb. a fele ugyanis a csüdízületben, az alsó rugózó rendszerben az ujjhajlító inakra tevődik át. A végtagok terhelése az ujjízületeket túlnyújtaná, ezt azonban az ízületek hajlító felületein az egymás fölött helyeződő inakból és szalagokból álló ún. hármashéveder megakadályozza (Nickel és mtsai, 1984) és egyben rögzíti az ízületeket (6. ábra).

A felületes hevedert a felületes ujjhajlító izom ina képezi, amely az alkartól egy járulékos szalagot kap, és a pártáizületig terjedően gátolja a lábtő-, a csüd- és a pártáizület túlnyúlását. A megfeszülő ín a járulékos szalagot feszíti, és alátámasztáskor, a súly viselése alkalmával, az izom felette helyeződő izomhasát mintegy kikapcsolja, ezáltal maga az izomhas nem vesz részt a statikus működésben. A középső hevedert a mély ujjhajlító izom ina képezi. Ez az ín a lábközépcsonttól kap egy olyan hasonló járulékos szalagot, mint amilyet a felületes ujjhajlító ín kapott, majd az ín a patacsont hajlító felületén tapad, így a lábközépcsontoktól a patacsontig képez hevedert, és kikapcsolja a felette helyeződő izomhasat. A mély hevedert a csüdegyenítő készülék alkotja, melynek szalagjai három csoportra oszthatók. A rendszer felső szakaszát lóban egy teljesen inas izom képezi. Középső szakaszát az egyenítő csontokról oldalt tért szalagok, valamint az egyenítő csontokat összekötő porcos szalag képezi. Az alsó szakaszt az alsó egyenítő szalagok, az egyenes, a ferde, a kereszteződő, és a rövid szalagok alkotják.

## AZ ELÜLSŐ VÉGTAJ RUGÓZÓ MŰKÖDÉSE

Az elülső végtag enyhíti a törzstől, illetve a talajtól kapott erős lökéseket. A ló végtagcsontjainak szögélése a rugózó mozgás szempontjából hátrányosabb, mint az ujjon és a talpon járó állapotoké. A felső rugózó részt a lapocka porca, a vállöv izmos beágyazódása, a vállízület és a könyökízület statikus szalagrendszerei képezik. Az alsó rugózó rész a csüd, a pártá, és a pataízület statikus szalagjaiból áll (König és Liebich, 2009, Wissdorf és mtsai, 2010). A két rugózó rész között elhelyezkedő középső támasztó oszlop, az alkar, lábtő, lábközép statikailag közvetítő szerepet tölt be. A két rugózó rész között, a végtag földre helyezésekor, az állás, az alátámasztás és a súlyeltolás szakaszában, az alkar, a lábtő és a lábközép egységes oszlopként működik, az erő közvetlenül halad keresztül rajta. A két rugózó rész közül a felső hosszabb, nagyobb kilengést is lehetővé tesz, és ez által jobb a rugózása, mint a főleg feszes, és erős szalagokból, inakból álló alsó rugózó rendszeré. Ugrások alkalmával a földtől kiinduló erős lökéseket nagyobb mértékben a főleg statikus izmok segítségével működő felső rugózó rendszer biztosítja. A törzs súlyának megfelelő nehézségi erő, és az azt ellensúlyozó, a talajtól kiinduló ellenőrző találkozási pontja a karcsontban van. A végtagra ható két ellenőrző irányú erő elsősorban a karcsont rugózó működése egyenlíti ki (Nickel és mtsai, 1984), ami előre haladó mozgás közben a mérleg szárához hasonlóan mozog. A láb felemelésének, és előrelendítésének a szakaszában, a karcsontnak, mint teherkarnak a forgástengelye a vállízületben, az alátámasztás és a súlyeltolás szakaszában pedig a könyökízületben van. A kar tehát kétféle funkciót végez: egyrészt, mint az erők ütközőpontja, az erők egyensúlyát tartja fenn, másrészt a végtag legfontosabb rugózást lehetővé tevő készüléke.

## A HÁTULSÓ VÉGTAJ STATIKÁJA

A hátulsó végtag kapcsolóőve, a medence, a törzs statikus rendszerének szerkesze. A gerincoszlophoz, ill. a keresztcsontoz merev ízülettel kapcsolódik. A hátulsó szabad végtag a csípőízületben ízesül a medencéhez, a combcsont feje illeszkedik az csípőízületi vápába, és a csípőízületet csupán kis szalagok illetve az ízületi tok, valamint a tömeges farizmok izomtonusa rögzíti helyzetében. A hátulsó szabad végtag ízületeit az elülső végtaghoz hasonlóan szintén statikus szalagok, inak és statodinamikus izmok rögzítik, amelyek lehetővé teszik, hogy a test súlyának a hátulsó végtagra eső kisebb részét kevés izomőrző igénybevetélivel megtartsák. A hátulsó végtag támasztóoszlopszerű működésében a térdízület hurokhoz hasonló rögzítő szalagrendszerének, az ún. térdkalács- vagy patella-mechanismusnak van a legnagyobb szerepe (Nickel és mtsai, 1984; König és Liebich, 2009). Az egyenes combizom íncontjának, a térdkalácsnak vagy patellának a sípcsontoz való rögzítését egy szalag végzi. Ez a szalag a lóban három részből áll: egy belső, egy középső és egy külső szalag alkotja. A belső és középső szalag a patellával együtt képes fennakadni a combcsont hengerének belső bütyke fölé. Amikor a combcsontot a térd nyújtói a sípcsont és a térdkalács ízületi felületein mozgatják, nyújtáskor a combcsont feletti árok a térdkalács alá illeszkedik, majd az egyenes combizom elernyed, és a hurok, a kiemelkedő combcsont

hengerén fennakad (Nickel és mtsai, 1984; König és Liebich, 2009). Eközben a térdkalács középső és belső egyenes szalagja feszült állapotban van. A hurokrendszer így a térdízületet középpállásban tartja.

A térdízület rögzítése egyben a csánkízület rögzítését is jelenti, mert a két ízület csak együtt képes elmozdulni. Az együttműködést az ún. fűrészkonstrukció biztosítja (7. ábra).

7. ábra: A fűrészkonstrukció alapján a térdízület mozgását a csánkízület azonos mértékben követi (A/ nyújtott, B/ behajlított)

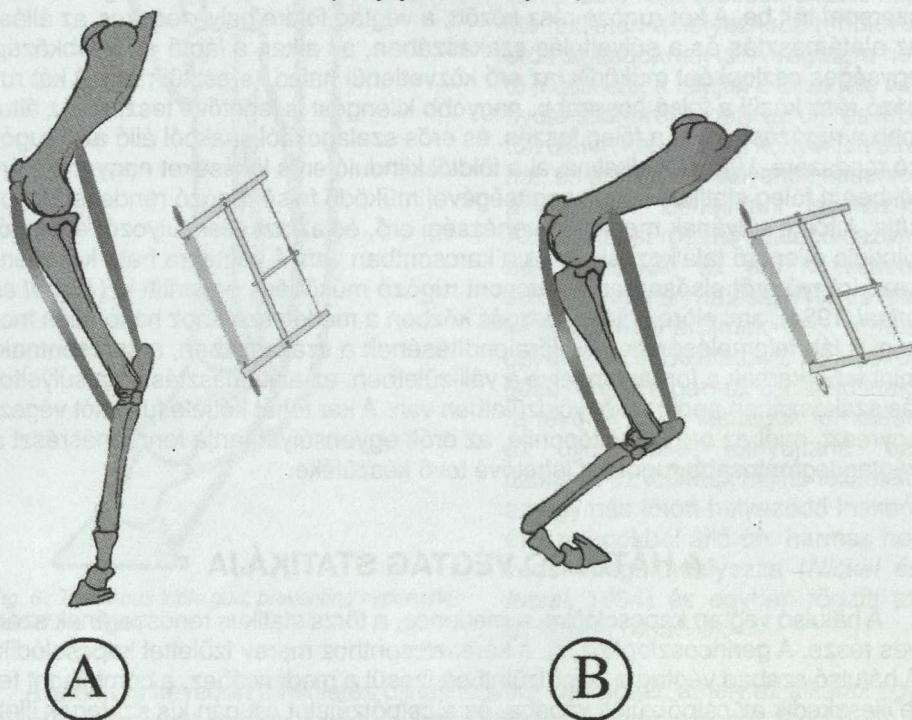


Fig. 7.: The so called „reciprocal apparatus” provides a synchronised motion of the stifle and hock joints (A – extension, B – flexion)

Ez a csontokból és inakból álló szerkezet a keretfűrészhez hasonló alakja és működése alapján kapta a nevét. A fűrész vázát a lábszár fő csontja, a sípcsont alkotja. A két végéhez illeszkedő haránt irányú farészeket a combcsont alsó végdarabja, illetve a lábtőízület, azaz a csánk csontjai képezik, amelyek az izmok erőkarjaként működnek. A fűrész lapját egy teljesen inas izom adja, ami a combcsonton ered, és a lábtő csontjain, valamint a lábközépcsontokon elől tapad. A fűrész istrángját, kötelét a felületes ujjhajlító izom szintén teljesen inas szakasza alkotja, amely a combcsonton ered, és a sarokcsont gumóján egy sapkaszerű inas rostköteggel tapad. A csánkízületet, azaz a lábtőízületet közvetve tehát a patella-mechanizmus rögzíti. A fűrészkonstrukció elve ugyanis az, hogy a térd- és csánk-

kízületet a hajlító és a nyújtó felületen egyaránt összekötő két ín a térdízület hajlításakor és nyújtásakor a csánkízületet passzívan egyforma mértékben nyújtja, illetve hajlítja, és ennek megfelelőe a térdízület passzív rögzítése alkalmával, hasonló szögállásban a csánkízületet is passzívan rögzíti (Fehér, 2000, König és Liebich, 2009).

A patella-mechanizmushoz, azaz a térdkalács rögzítéséhez kis fokban az egyenes combizom izomtónusára is szükség van. Hosszabb állás után a ló hátulsó végtagja is elfárad, emiatt a ló hátulsó végtagjait állás közben váltva terheli, helyzetváltással pihen. Eközben a végtag, mint passzív hordozó oszlop átveszi a törzs ránehezedő súlyát. A másik hátulsó végtagon az egyenes combizom aktív összehúzódása révén kiemeli a térdkalácsot a combcsont hengere fölötti árokból, ezáltal a patella-hurkot kiakasztja és a végtagot tehermentesíti (Aschdown és Stanley, 1998).

A csüd-, a pártá- és a pataízületnek lényegében ugyanolyan statikus szalagjai vannak, mint az elülső végtagon, de mély ujjhajlító ín járulékos kötege gyengébb. A felületes ujjhajlító izom járulékos ínjának, a hátulsó végtagon, az ín sarokgumón tapadó rostjai felelnek meg.

A lovak ujjhajlító és ujjnyújtó inai, valamint szalagjai rendkívül nagy húzóerőknek képesek ellenállni. Az inakban a kollagénrostok sűrű szövedéket képeznek, amely különösen jól megfigyelhető a megszártított ín rostjainak tilolással történő szétválasztása után (8. ábra).

8. ábra: Az inak kollagén rostjainak sűrű szövedéke a tilolást követően

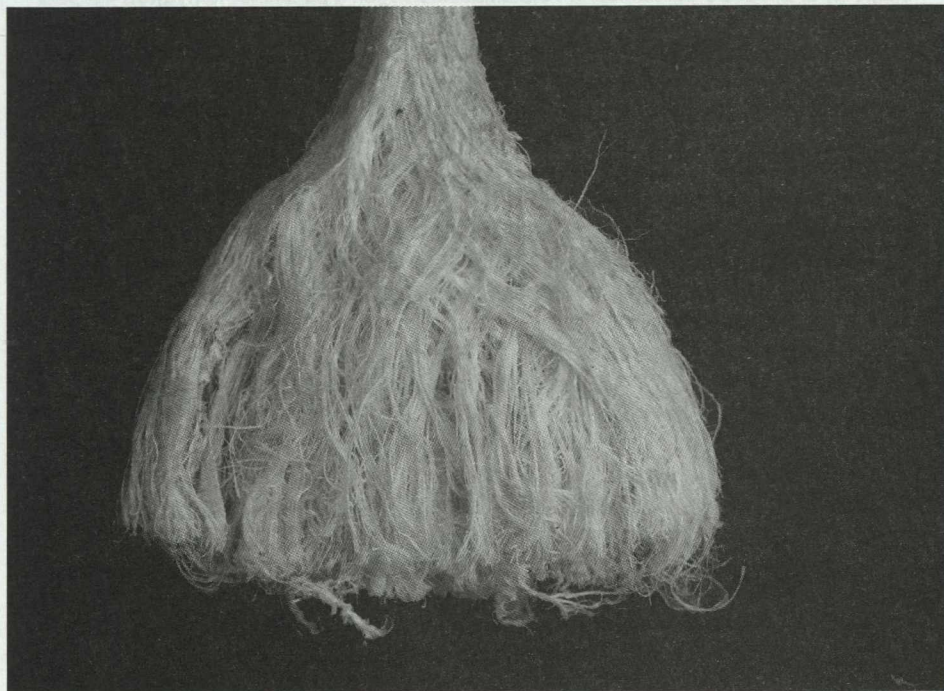


Fig. 8.: Collagen fibers of the tendon

## A LÓ MOZGÁSFORMÁI

A végtag ízületeinek szöge és az izmok felépítési módja az előrehaladó mozgáshoz alkalmazkodik. Az előrehaladó mozgás mindig az egyik hátulsó végtag terhelésével, majd ízületeinek kinyújtásával kezdődik (*Back és mtsai, 1993*). Az állat a medencéjét, és ezáltal a törzsét is, előre és fölfelé nyomja. Az ízületek kinyújtásakor keletkező, talaj felé irányuló nyomást a törzsre ható tolóerő váltja fel. Ez utóbbi a mozgás irányába esik, ezáltal előrehaladó mozgássá alakul át. E közben a súlypont eltolódik az ellenkező oldali elülső végtag irányába, amit az állat ebben az időszakban a földről felemel. Ez alatt a másik oldali hátulsó végtag ízületei nyúlnak ki, a törzset előretolják, és a súlypont ismét az ellenoldali elülső végtag felé tolódik (*Kobulek és mtsai, 1989*), majd a folyamat újból kezdődik előlről. Mozgás közben az állat súlypontja, és ezáltal a törzse jobbra-balra ritmikusan kileng, amit az állat, a fej és a farok mozgásával tart egyensúlyban.

### A LÉPÉS FÁZISAI, SZAKASZAI, MOZZANATAI

Egy végtag mozgásakor a lépés időszakában, két fázist különböztetünk meg: a levegőben való függést és a súlyviselést. A fázisokat szakaszokra oszthatjuk. A levegőben való függés fázisa az ízületek behajlítása és az ízületek nyújtása, a

9. ábra: A lépés mozzanatai: A/ átlépés a csüdizületben: súlyátvételkor a csüdizület túlnyújtott állapota; B/ átlépés a pataizületben: alátámasztás végén a pataizület túlnyújtott állapota

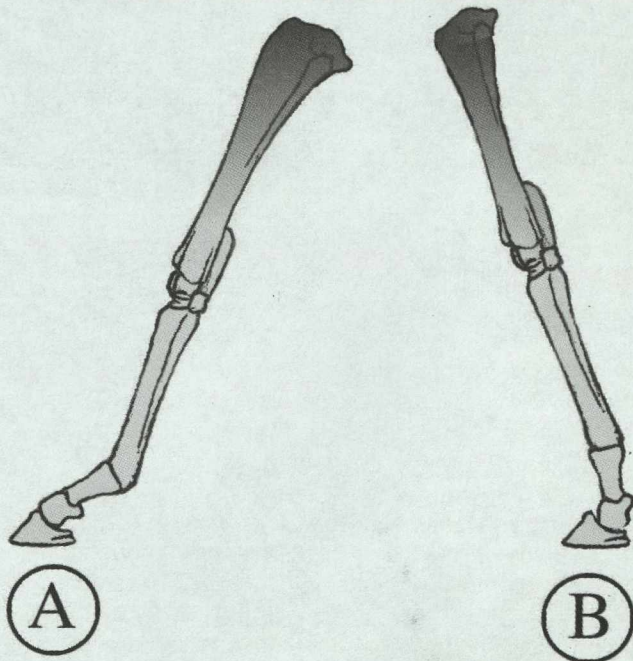


Fig. 9.: Phases of the staight: A/ overextension in the fetlock joint, during weight bearing the fetlock becomes overextended, B/ overextension in the DIPJ (distal interphalangeal joint): during take off overextension in the hoof (DIPJ) joint

súlyviselés, az alátámasztás és a súlyeltolás szakaszaiból áll (Szőke és Beke, 1992). A szakaszokat további mozzanatokra lehet felbontani. Az ízületek behajlításakor a felemelés és az előrelenyúlás mozzanata, az ízületek nyújtásakor az előrenyúlás és a letétel mozzanata figyelhető meg (Szunyoghy, 2003). Az alátámasztás szakaszán belül a súlyátvétel, átlépés a csüdízületben, és a megterhelés, míg a súlyeltolás szakaszán belül, az átlépést a pataízületben és a tulajdonképpen súlyeltolás mozzanatát különíthetjük el (9. ábra).

A levegőben való függés fázisában a végtagot a vállöv izmos összeköttetése fűzi a törzshöz, rögzíti és mozgatja a mellkas oldalán. Ebben a fázisban, a végtag, a törzshöz viszonyítva, 8–9 cm-rel mélyebb síkban mozog (Mitchelson, 1988). Az első fázis első szakaszában, a felemelés mozzanatában a vállöv izmai a kart és ezáltal a szabad végtagot emelik, a végtag ízületeinek hajlítóizmai az ízületeket behajlítják, a lábvég a földről felemelkedik, ízületei hajlanak. A hátsó szabad végtagot a törzsről eredő izmok emelik azáltal, hogy a combot emelve, behajlítják a csípőízületet. Az előrelenyúlás mozzanatában az állat előrelenyúlja végtagjait, miközben a végtag ízületei a mozzanat kezdetén hajlanak, a végén már nyúlnak. Így megy át folyamatosan a második szakaszba, az ízületek nyújtásába (Kobulek és mtsai, 1989).

Ezen szakasz első mozzanata az előrenyúlás, amelyben az ujj- majd a lábtőízület nyújtói vesznek részt, eközben a vállöv izmai előrehúzzák az egész végtagot, miközben a kar süllyed.

A hátsó végtag előrelenyúlásának végén, az ízületek nyújtásával, a végtag talajra helyezése kezdődik. Az izmok nyújtják a térd-, a csánk- és az ujjízületeket, ezáltal a végtag hosszabbodik, és közeledik a talajhoz. Az ízületek nyújtásának végén, a letétel pillanatában az állat a talajra helyezi a kinyúló végtagot. Ebben ujjízületeinek a nyújtói működnek közre. Az ízületek hajlítása és nyújtása egyaránt az ujjpercízületek felől kezdődik, majd felfelé a többi ízület követi fokozatosan, és a vállízület fejezi be.

A második fázisban, a súlyviseléskor, az első végtagon a két lapocka között megfeszülő alsó fűrészsízmegfeszítő hevederszerűen függeszti fel a törzset, miközben a végtag, a törzshöz viszonyítva, a törzs súlyát viselve, magasabb síkban helyeződik el (König és Liebich, 2009; Wissdorf és mtsai, 2010). Az első szakaszban, alátámasztáskor, nagyobb részt a végtag viseli a törzs súlyát. A törzs előrelenyúlása csak másodlagos a folyamatban. A hátsó végtag azonban ebben a szakaszban is részt vesz a törzs előrelenyúlásában. Ezen szakasz első mozzanata a súlyátvétel. Az állat a véagra helyezi a testsúlyát, az ízületek statikus szalagjai és izmai megfeszülnek. Az első végtag a mar irányába felemelkedik, súlyátvételekor a csüdízület túlnyújtott állapotba kerül, a csüd a talajhoz közeledik. A csüdegyenítő készülék és a felületes ujjhajlító izom hevedere megfeszül, és a test véagra eső súlyának kb. a felét, a szalagok és izmok veszik át. Ez a mozzanat az átlépés a csüdízületben. A második mozzanat során, a megterheléskor a végtag a törzs súlyának nagy részét viseli. Ez a mozzanat az átlépés pillanatában kezdődik és addig tart, amíg a lábközépcsontok tengelye a függőlegest el nem éri. Alátámasztás közben a végtag statikus szerveinek működése dominál. Az alátámasztás végén a második szakasz, a súlyeltolás szakasza kezdődik. Ekkor a pataízület kerül túlnyújtott állapotba, és ez az átlépés a pataízületben. E pillanatban a mély ujjhajlító izom ina feszül meg a legnagyobb mértékben. A súlyeltolás szakaszának utolsó

mozzanata a tulajdonképpeni súlyeltolás. A végtag alátámasztó működése mindinkább csökken, a súlyeltolást végző izmok működése fokozódik. A lépés mozzanatai közben az ujjhajlító inainak terhelése, igénybevétele különböző mértékű. Súlyátvételnél a csüd- és a pártahajlító, az alátámasztás végén, illetve a súlyeltolás kezdetekor (átlépés a pataízületben) nagyobb mértékben a patahajlító izom feszül meg (Wissdorf és mtsai, 2010).

A lépés a lábvég felemelésétől a következő felemelésig tart. Hossza a két egymás után következő ujjvég nyoma között mérhető. A lépés akkor szabályos, ha a végtag mozgása a törzs tengelyével párhuzamosan, a szagittális síkban ingaszerűen megy végbe, és a lábvég a levegőben közepesen magas ívet ír le, melynek legmagasabb pontja a lépéshossz közepén mérhető.

Az előrehaladó mozgás közben az állat általában váltva használja négy végtagját, de az egyes végtagok mozgásának szakaszai időben többé-kevésbé egybefolynak. Pontos vizsgálatára a lassított filmfelvételt felhasználó mozgásgrafikonok szolgálnak (Mitchelson, 1988; Kobulek és mtsai, 1989). E módszerrel megállapíthatjuk, hogy a lépés az a mozgástípus, amelyben az állat a súlypontját az egyik hátsó végtagról az első végtagra helyezi át. Tehát amíg az egyik végtag az alátámasztás, súlyeltolás szakaszában van, a másik a levegőben függ. Vannak ugyanis olyan mozgástípusok, amelyek egyes fázisaiban egyszerre három végtag helyeződik a földre, ez a három láb-alátámasztás. Van olyan pillanat, amikor a két diagonális vagy két azonos oldali végtag van a földön, ez a diagonális vagy szagittális két láb-alátámasztás. Amikor három végtag függ a levegőben, és csupán egy viseli a test súlyát, egy láb-alátámasztásról beszélünk. Végül van olyan mozgástípus, amelynek egyik pillanatában az egész állat a levegőben úszik, mintegy lebeg, ez esetben tehát az előrehaladó mozgás egymást követő ugrásokból áll.

## A MOZGATÓ IDEGPÁLYÁK FEJLŐDÉSE – MYELINIZÁCIÓ

A myelinizáció foka meghatározza a mozgás koordinációt, ez szolgál magyarázatul arra, hogy az újszülött csikó születését követően rögtön összerendezett bonyolult mozgáskombinációkra képes, eltérően a lassabban fejlődő kutyától, illetve embertől.

A myelin hüvely kialakulása az axon körül (10. ábra) a késői embryonális és korai postnatalis korban zajlik, amelynek időbeni megoszlása jelentős fajonkénti eltérést mutat. Míg néhány faj majdnem teljesen myelinizálatlan központi idegrendszerrel jön világra, addig másokban ez különböző mértékben, már lezajlott erre a pillanatra. Néhány pályára jellemző, hogy myelinizációja akár a felnőttkorig elhúzódhat. Ilyen például a motoros rendszer is. Fontos megemlíteni, hogy myelin hüvely kialakulása az axon körül jelzi annak funkcionális érettségét, minthogy csak ezután lesz képes teljes fokú ingerületvezetésre. Nagyon jól tükrözi ezt az újszülött mozgás mintázata is. A motoros pályák előrehaladottabb myelinizációjával születő fajokban hamarabb alakul ki az önálló mozgás, mint azokban, amelyek újszülött korban kevésbé myelinizáltak.

A ló agyvelő mérete az ellés előtti 14. naptól a postnatalis 45. napig számottevően nem változik, ugyanakkor jelentős belső változásokon megy át, a myelin mennyisége és festési intenzitása megnő, újonnan keletkezett myelin tűnik fel, amelyek a myelinizálódott motoros pályák összterületét növelik meg.

10. ábra: Myelin hüvely az axon körül (Hajós F. felvétele)

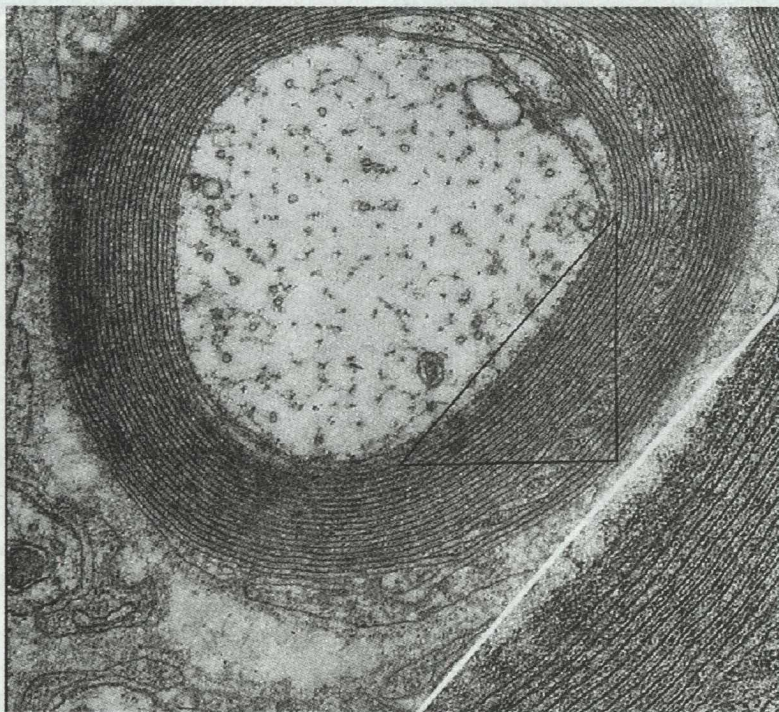


Fig. 10.: Myelin sheath around the axon (photo: Hajós, F.)

A 45. postnatalis naptól a felnőttkorig az agy mintegy megkétszereződik, ugyanakkor a myelin arányos változása ezt nem kíséri. Ez azt jelenti, hogy a motoros pályákérésének főbb mozzanatai a prenatalis és a korai postnatalis időszak között már lejátszódtak, amíg az agyvelő méretbeli növekedése csak az érési folyamat után következik be.

Az agykéreg által kontrollált mozgásszabályozást a szürkeállományból kiinduló mozgatópályák végzik, amely a *capsula interna*-ban keresztülhaladva térnek a gerincvelői mozgatósejtekhez. Megfigyelhető, hogy a születés előtti, közvetlenül a születést követő, majd a felnőtt lóagyban ez a pálya egyre terjedelmesebb, fejlettebb. A képen a szürkeállomány világos, a fehérállomány pedig sötét, mert az idegrostokat körülvevő myelinhüvely specifikusan festődik (11. ábra) (Szalay, 2001).

Mozgáselemzési vizsgálatainkkal azt is kimutattuk, hogy a végtagokat törzshöz kapcsoló nagy tömegű izmok teljes beidegzését csak ennek a pályának a teljes myelinizációja után lehet „elvárni”. A felnőtt lovakra jellemző kifinomult mozgásformák tehát csak a pálya teljes érése után várhatók. Ember esetében ez egészen a felnőttkor küszöbéig elhúzódik, részben ennek is köszönhető, hogy egy kisgyereket 5–7. éves kora előtt nem lehet megtanítani írni.

11. ábra: Az agyvelő capsula interna-ján haladó mozgatópályák myelinizációjának változását a fehérállomány erősödő feketedése jelzi: A/ ellés előtt 14 nappal, B/ közvetlenül az ellést követően, C/ felnőtt korban (Haidenhain-féle vas-haematoxylin festés, Szalay F. felvétele)

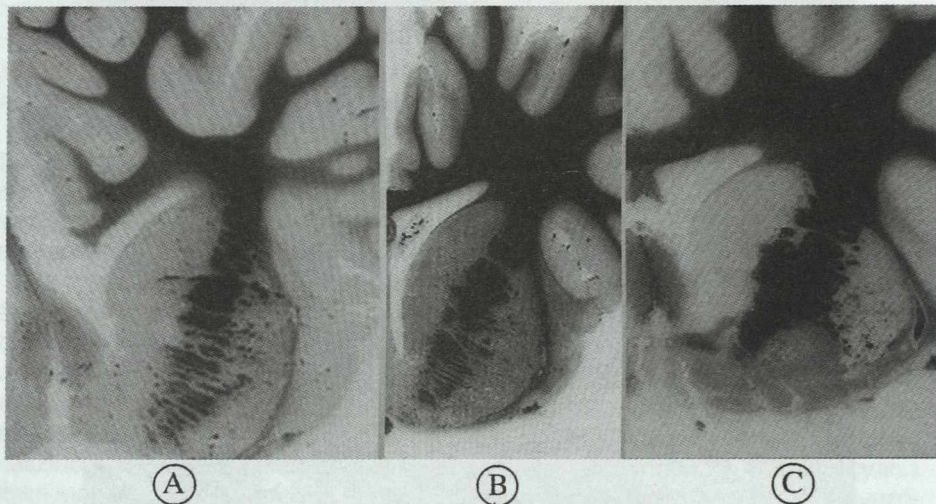


Fig. 11.: The myelination of the motor pathways (white matter) transmitted through the capsula interna is indicated by the increasing intensity of myelin staining. A: prenatal day 14, B: newborn, C: adult (Haidenhain iron-hematoxylin staining Courtesy of F. Szalay)

## A MOZGÁS VIZSGÁLATA

Az állattenyésztés fejlődése során megszerzett tapasztalatok és tudásanyag nagyrészt a ló tökéletesítésére koncentrált. A hippológia (lóismeret) kiemelkedett az állattenyésztésből, és a 18–19. században következett el fénykora (Szőke és Beke, 1992). Ekkortájt jelentek meg több országban is az intézményesített lóversenyek, ami jelentősen emelte a lótenyésztés hatékonyságát. A versenylovak mellett megjelentek gazdasági és hadászati célra alkalmas fajták is.

Érthető módon a hippológia hangsúlyt helyezett a ló mozgására. A mozgásrendszer elemzésével nyert információ segíthet benne, hogy a használatnak leginkább megfelelő alkutú és mozgású egyedet válasszuk ki, illetve, hogy megismerjük az állat szokásait. Akkoriban azonban még nem tudtak túllépni a pusztá megfigyelés határain. A 19. század közepétől a mozgókép rögzítése irányuló törekvések jelentősen hatottak a mozgásanalízis fejlődésére. Többféle technikával próbálkoztak. A ló mozgásának első tudományos leírásai az 1870-es évekből származnak. A legelső sikert Wilhelm Baumeisternek tulajdonítjuk, aki 1870-ben írta le a ló lépésének patadiagramját.

Három évvel később Etienne-Jules Marey bemutatta az eredetileg emberi mozgás analízisére szánt pneumatikus eszközét, amely lovon alkalmazva részletes patadiagramot és lépésfázis-adatokat szolgáltatott (Marey, 1873). Marey hírnevét azonban sokkal inkább saját tervezésű fotópuskája alapozta meg. Első felvételei egy kockára exponált montázsfotók voltak, később megoldotta az elkülönített exponálást, és az így nyert sorozatai már alkalmasak voltak elemzési célokra is.

A Marey-féle revolverszerű fotópuska és vele párhuzamosan fejlődő egyéb eszközök voltak a filmkamera elődei, melyek hosszú évtizeden át álltak a filmkészítés

szolgáltatásban, mialatt jelentős fejlődésen mentek át. A másodpercenkénti 25 képkocka, amelyet a szokásos kamerák készítenek, jó minőségű, az emberi szem számára folyamatosnak tűnő képet ad. Lassított lejátszásuk különösen hasznosnak bizonyult a különböző mozgásformák részleteinek megismerésében. Manapság már olyan egyéb, kifinomult eszközök állnak a mozgáselemzéssel foglalkozó a kutatók rendelkezésére, mint például a nagysebességű videokamera. Az 1970-es évektől kezdődően megszületett a precíziós alkatrészek működését szabályozó elektronikák technikai háttere. Ezek mellett a fotokémiai eljárások kifinomulása lehetővé tette rendkívüli érzékenységgű filmek ipari előállítását is. Ennek a fejlődésnek a csúcsaként sikerült több mint 100 000 képkocka/sec mintavételű filmeket előállítani.

Egy másik jelentős előrelépés volt a mozgáselemzésben a futószalag alkalmazása (Althouse és Auer, 1987), amellyel a szabadon mozgó állatok filmezésénél előálló eltéréseket sikerült kiküszöbölni. Másfelől lehetőség nyílt a mozgásban lévő állatot a kamera előtt egy helyben tartani, és a főbb anatómiai pontokra helyezett markerek mozgását vizsgálni (Kobulek és mtsai, 1989).

A lovak mozgásának modern kori, számítógépes vizsgálatai a 80-as évek elején kezdődtek (12. ábra).

A kinematikus mozgásvizsgálatban az ízületekre felhelyezett, öntapadós, fényvisszaverő markereket vörös fényt kibocsátó kamerák érzékelik, amelyekből a jelenlegi mozgáslaboratóriumok 4–6 db-ot helyeznek el az állat körül (Mitchelson, 1988). E speciális kamerák csak a markereket érzékelik, és a róluk származó jeleket továbbítják a számítógépbe. A számítógép kétdimenziós formában jeleníti meg a pontokat, amelyeket a tér minden irányából megfigyelhetünk. A markerek háromdimenziós ábrázolásához elengedhetetlen, hogy egy markert legalább két kamera érzékeljen és rögzítsen egy időben, amit egy számítógépes program há-

12. ábra: A számítógépes mozgásanalízis modellje

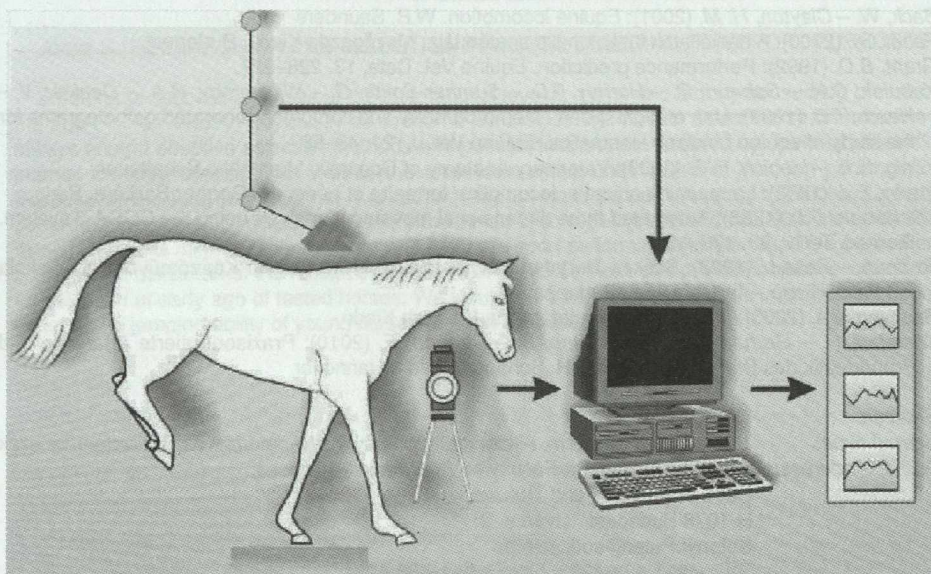


Fig. 12.: Model of the computerized movement analysis

rombdimenziós koordináta rendszerben jelenít meg (Kobulek és mtsai, 1989), és ezen pontok összekötésével készíthetjük el a „pálcikaállatot”. Az így elkészített állatmodell a tér minden irányába elfordítható és tanulmányozható.

Ezen eljárás segítségével lehetőség nyílik a mozgás objektív elemzésére egészséges, valamint mozgásszervi vagy idegrendszeri betegségben szenvedő állatokban, és a károsodás súlyosságának, esetleges romlásának, illetve javulásának pontos megítélésére (Althouse és Auer, 1987, Grant, 1992).

Napjainkban már sokféle digitális mozgásvizsgáló rendszer létezik, amelyek közül már a hagyományos videokamerákat alkalmazók lehetővé teszik, hogy a ló mozgását akár ugrás közben is vizsgáljuk (Grant, 1992).

A futószalagon mozgó lóról készült felvételek és az azt követő elemzések értékes információkat szolgáltatnak a végtagok és az ízületek mechanikájára vonatkozólag, ami különösen fontos lehet a sántaság vizsgálatakor, és kiemelkedő szerepe van a pontos diagnózis felállításában. A normális mozgás elemzésének egyik igen jelentős célja, hogy a fiatal állatok vizsgálatával előrejelzést kapjunk a felnőttkori teljesítményre vonatkozóan. A törekvések ellenére ez a cél még távolinak tűnik. Egyelőre még nem fejlődött ki ezeknek az adatoknak számottevő módszerbeli változás az alapján a tréningbe állítás, sem pedig a tréning a tekintetében.

## IRODALOM

- Althouse, C.G. – Auer, J.A. (1987): The description of a treadmill and its use in clinical equine research. *Southwest Vet.*, 38. 40–46.
- Aschdown, R.R. – Stanley, D. (1987): Color Atlas of Veterinary Anatomy – The Horse. J.B. Lippincott Company Philadelphia
- Aschdown, R.R. – Stanley, D. (1998): Topographische Anatomie des Pferdes. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart
- Back, W. – Bogert, A.J. – van der Weeren, P.R. – van Bruin, G. – Barneveld, A. (1993): Quantification of the locomotion of Dutch Warm blood foals. *Acta Anat.*, 146. 141–147.
- Back, W. – Clayton, H. M. (2001): Equine locomotion. W.B. Saunders
- Fehér Gy. (2000): A háziállatok funkcionális anatómiája. Mezőgazda Kiadó, Budapest
- Grant, B.D. (1992): Performance prediction. *Equine Vet. Data*, 13. 226–227.
- Kobulek, C.N. – Schnurr, D. – Horney, F.D. – Sumner-Smith, G. – Willoughby, R.A. – Deekler, V. – Heam, T.C. (1989): Use of high-speed cinematography and computer generated gait diagrams for the study of equine hindlimb kinematics. *Equine Vet. J.*, 21. 48–58.
- König, H.E. – Liebich, H.G. (2009): Veterinary Anatomy of Domestic Mammals. Schattauer
- Marey, E.J. (1873): La machine animale, locomotion terrestre et aérienne. Germer Baillière, Paris
- Mitchelson, D.L. (1988): Automated three dimensional movement analysis using the CODA-3 system. *Biomed. Tech.*, 33. 179–182.
- Szőke A. – Beke L. (1992): Székely Bertalan mozgástanulmányai. Magyar Képzőművészeti Főiskola – Balassi Kiadó – Tartóshullám, Budapest
- Szunyoghy A. (2003): A ló művészeti anatómiája, Kossuth Kiadó.
- Wissdorf, H. – Gerhards, H. – Huskamp, B. – Deegen, E. (2010): Praxisorientierte Anatomie und Propädeutik des Pferdes, Verlag M.&H. Schaper Alfeld – Hannover

Érkezett: 2010. június

Szerző címe: Szent István Egyetem, Állatorvostudományi Kar, Anatómiai és Szövettani Tanszék

Author's address: St. István University, Faculty of Veterinarian Sciences,

Dept. of Anatomy and Tissues

H-1078 Budapest, István u. 2.

Sotonyi.Peter@aotk.szie.hu

Tel.: +36-1-478-4223; Fax.: +36-1-478-4224