Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

Angol telivér versenylovak elülső csüdízületeinek összehasonlító képalkotó vizsgálata: egy longitudinális tanulmány

Dr. Boros Koppány

Témavezető: Dr. Nagy-Schuller tot Peursum Annamária

ÁLLATORVOSTUDOMÁNYI EGYETEM

Állatorvostudományi Doktori Iskola

Budapest, 2026

Témavezető és konzulens

……..

Dr. Nagy-Schuller tot Peursum Annamária, PhD habil. DipECVSMR DipACVSMR FRCVS

Lógyógyászati Tanszék és Klinika

Állatorvostudományi Egyetem

témavezető

……..

Dr. Sue Dyson, MA VetMB PhD

független szaktanácsadó

Egyesült Királyság

konzulens

Készült … példányban. Ez a(z) …. sz. példány.

……..

Dr. Boros Koppány

Tartalomjegyzék

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései	4
2. Anyag és módszer	9
2.1. Vizsgálati populáció és sántaságvizsgálat	9
2.2. Diagnosztikai képalkotás	9
2.3. Képelemzés és statisztikai módszerek	10
3. Eredmények	13
3.1. A hármas metacarpalis csont sagittalis taraja	13
3.2. Proximalis szezámcsontok	15
3.3. Metacarpalis condylusok denzifikációja	16
4. Megbeszélés és következtetések	18
5. Új tudományos eredmények	23
6. A doktori kutatás eredményeinek közlései	25

1. A doktori értekezés előzményei és célkitűzései

Angol telivér versenylovakban a mozgásszervi sérülések a tréningből való kiesés leggyakoribb okai közé tartoznak, és súlyos, akár katasztrofális kimenetelű következményekkel is járhatnak. A metacarpophalangealis ízület anatómiai sajátosságai, valamint a nagy sebességű galopp során fellépő jelentős, ismétlődő terhelés miatt különösen sérülékeny. A csontszövet a fokozott mechanikai igénybevételhez szerkezeti átépüléssel alkalmazkodik, amely a csonttömeg és a csontszerkezet megváltozásával jár. Amennyiben azonban a terhelés hatására keletkező mikrosérülések felhalmozódása meghaladja a csontszövet helyreállító képességét, fáradásos csontsérülés, súlyosabb esetben pedig törés alakulhat ki.

A képalkotó diagnosztika alapvető szerepet játszik e folyamatok felismerésében és nyomon követésében. A röntgenvizsgálat továbbra is fontos elsőként választandó és szűrővizsgálati módszer, azonban a terhelés következtében kialakuló korai csontelváltozások a képletek egymásra vetülése és a korlátozott kontrasztfelbontás miatt nehezen észlelhetők, vagy akár rejtve is maradhatnak. Az álló helyzetben is elvégezhető fan-beam komputertomográfia (FBCT) és az alacsony térerejű mágnesesrezonancia-vizsgálat (MRI) lehetővé teszi a végtag distalis részének részletes, keresztmetszeti vizsgálatát általános érzéstelenítés nélkül.

A doktori kutatás megkezdésekor a rendelkezésre álló képalkotó vizsgálatok többsége egyetlen időpontra korlátozódott, vagy már

sántaságot mutató lovakra irányult. Kevés adat állt rendelkezésre arról, hogyan változik a csüdízület csontjainak szerkezete a rendszeres tréning és versenyzés során, több versenyszezonon keresztül, sántaságmentes lovakban. Ennek ismerete különösen fontos a szűrővizsgálatok értékelésekor, hiszen a képalkotó vizsgálattal kimutatott elváltozások nem feltétlenül járnak klinikai tünetekkel, és nem minden esetben utalnak kóros folyamatra. A terheléshez való normál adaptáció és a korai kóros elváltozások elkülönítéséhez ezért elengedhetetlen a csontszerkezet időbeli változásainak nyomon követése.

A kutatás során fiatal angol telivér versenylovakat követtünk nyomon a tréning megkezdésétől, több egymást követő időpontban. Az ismételt röntgen-, FBCT- és alacsony térerejű MRI-vizsgálatokat klinikai vizsgálattal és objektív sántaságvizsgálattal egészítettük ki. A vizsgálatok a csüdízület három, biomechanikai szempontból különösen jelentős csontos területére irányultak: a hármas metacarpalis csont (McIII) sagittalis tarajára és condylusaira, valamint a proximalis szezámcsontokra.

Az McIII sagittalis tarajának röntgenfelvételeken látható elváltozásai gyakoriak egyéves angol telivérekben. Egyes tanulmányok összefüggést találtak ezen elváltozások, az ízületi effúzió, a sántaság és az alacsonyabb árverési ár között. Komputer tomográfiás vizsgálattal a sagittalis taraj dorsalis részén hypoattenuáló elváltozások, a subchondralis csontlemez megvastagodása és a trabecularis csont fokozott attenuációja figyelhető meg. Ugyanakkor

kevés adat állt rendelkezésre arról, hogyan változnak ezek az elváltozások a tréning első évében.

A proximalis szezámcsontok a csüdegyenítő készülék meghatározó részei, amelyekre a nagy sebességű galopp során jelentős húzó- és nyomóerők hatnak. A kitágult ércsatornák és az abaxialis szél elváltozásai összefüggésbe hozhatók a versenyteljesítménnyel, valamint a súlyosabb szezámcsonti elváltozások kialakulásával. Korábbi, ex-vivo vizsgálatok kimutatták, hogy tréning hatására megváltozik a szezámcsontok csontsűrűsége. Ugyanakkor kevés adat állt rendelkezésre arról, hogyan változik a teljes szezámcsont radiodenzitása élő lovakban, a tréning megkezdésétől, hosszabb időn keresztül.

Az McIII condylusainak palmaris részén a tréning hatására kialakuló denzifikáció jól ismert jelenség. A kifejezett denzifikáció, a parasagittalis árok elváltozásai és mikrosérülései összefüggésbe hozhatók a condylustörések kialakulásával. Korábbi MRI-vizsgálatok alapján a denzifikáció kiterjedésére vonatkozóan egy lehetséges töréskockázati küszöbértéket is meghatároztak, ez azonban nem alkalmazható közvetlenül más képalkotó módszerek esetében. Ezért indokolttá vált az FBCT-vel és az alacsony térerejű MRI-vel mért denzifikáció közvetlen összehasonlítása ugyanazon, aktívan tréningező és versenyző lovak hosszú távú nyomon követése során.

A doktori kutatás célkitűzései:

- Az McIII sagittalis tarajának CT-vizsgálattal történő szubjektív és objektív értékelése, valamint az elváltozások időbeli változásainak nyomon követése a tréning és a versenyzés első évében.
- A sagittalis taraj dorsalis és palmaris részének átlagos attenuációjában a tréning megkezdését követően bekövetkező változások, valamint a dorsalis subchondralis csont hypoattenuáló elváltozásai időbeli alakulásának vizsgálata.
- A proximalis szezámcsontok röntgenfelvételeken látható elváltozásainak pontrendszer alapján történő értékelése és mintegy 2,5 éven át tartó nyomon követése, valamint a teljes szezámcsont radiodenzitásának meghatározása FBCT-vizsgálattal.
- A szezámcsontok radiodenzitása és a versenyterhelés, a testméret, az oldaliság (jobb/bal), valamint a medialis vagy lateralis elhelyezkedés közötti összefüggések vizsgálata, továbbá az abaxialis szél elváltozásait befolyásoló tényezők meghatározása.
- Az McIII condylusainak palmaris részén kialakuló denzifikáció legnagyobb lineáris kiterjedésének mérése az axialis, középső és abaxialis harmadban, FBCT- és alacsony térerejű MRI-vizsgálattal, valamint a denzifikáció időbeli változásainak hosszú távú nyomon követése.
- Az MRI- és CT-vizsgálattal kapott mérési eredmények közötti korreláció és szisztematikus különbségek meghatározása,

valamint annak vizsgálata, hogy a condylusok denzifikációja összefüggésben áll-e a versenyterheléssel és a testmérettel.

2. Anyag és módszer

2.1. Vizsgálati populáció és sántaságvizsgálat

A vizsgálatba 40, a tréning megkezdése előtt álló, egyéves angol telivér került bevonásra. A beválasztás feltétele a sántaság, valamint a korábbi csüdízületi megbetegedés hiánya volt. A lovak ivara, életkora, testtömege, marmagassága és versenystartjainak száma egyaránt rögzítésre került. A kezdeti vizsgálatot körülbelül hathavonta négy kontrollvizsgálat követte, így a teljes nyomon követési idő két és fél év volt.

Minden vizsgálati időpontban sor került mindkét elülső végtag klinikai vizsgálatára, különös figyelmet fordítva a csüdrégióra. A hagyományos, szubjektív sántaságvizsgálatot objektív mozgáselemzés egészítette ki. Lehetőség szerint hajlítási próbákra, valamint kemény és puha talajon, körön végzett mozgásvizsgálatokra is sor került. Sántaság esetén a fájdalom forrásának meghatározása perineuralis diagnosztikai érzéstelenítéssel történt.

2.2. Diagnosztikai képalkotás

Valamennyi képalkotó vizsgálat álló, szedált lovakon történt. Mindkét csüdízületről standard és kiegészítő röntgenfelvételek készültek.

Az FBCT-vizsgálatokhoz egy 16 detektorsoros, 90 cm-es gantrynyílással rendelkező CT-berendezést alkalmaztak. A vizsgált terület a metacarpus distalis harmadától az első phalanx középső

részéig terjedt. A HU-értékeket befolyásoló felvételi paraméterek valamennyi vizsgálat során azonosak voltak: 135 kV, 350 mA, 0,5 s rotációs idő, 300 mm-es látómező és 0,5 mm-es akvizíciós szeletvastagság.

Az MRI-vizsgálatok álló 0,27 T alacsony térerejű rendszerrel történtek. A protokoll sagittalis, frontalis és transversalis T1-súlyozott gradiens echo, T2*-súlyozott gradiens echo és STIR szekvenciákat, valamint transversalis T2-súlyozott fast spin echo szekvenciát tartalmazott. A condylusok denzifikációjának lineáris méréséhez a sagittalis T1-súlyozott felvételek szolgáltak alapul.

2.3. Képelemzés és statisztikai módszerek

A sagittalis taraj vizsgálata az első három időpontra terjedt ki, mivel a tréning első éve különösen fontos a csont terheléshez való korai alkalmazkodásának, valamint a már meglévő és az újonnan kialakuló elváltozások változásainak megítélésében. A taraj dorsalis és palmaris részének denzitása Hounsfield-egységekben (HU/*Hounsfield unit*) került meghatározásra. A dorsalis subchondralis csont hypoattenuáló elváltozásainak értékelése azok elhelyezkedése, alakja, valamint proximodistalis és dorsopalmaris kiterjedése alapján történt. Emellett a subchondralis csontlemez megvastagodása és a trabecularis csont fokozott attenuációja is rögzítésre került.

A proximalis szezámcsontok radiodenzitásának meghatározása FBCT-felvételeken, a csontok egészét lefedő, egységesen kijelölt

mérési régiókban mért HU-értékek alapján történt. A röntgenfelvételeken a szezámcsontok osztályozása előre meghatározott pontrendszer szerint, elsősorban az ércsatornák száma és átmérője alapján történt. Külön értékelésre került az abaxialis újcsontképződés, az abaxialis szél konkavitása, valamint az abaxialis felszín egyenetlenségeinek jelenléte.

Az McIII condylusainak palmaris része axialis, középső és abaxialis harmadra került felosztásra. A sagittalis T1-súlyozott MR-felvételeken mindhárom régióban a denzifikációra jellemző alacsony jelintenzitású terület legnagyobb, az ízületi felszínre merőleges lineáris kiterjedése került meghatározásra. A CT-felvételeken ennek megfelelően a fokozott attenuációjú csontterület legnagyobb lineáris kiterjedésének mérése történt. Egy előzetes ismételhetőségi vizsgálat során 0,5, 1, 2 és 3 mm-es CT-rekonstrukciók összehasonlítására került sor, amelyek közül a 2 mm-es szeletvastagság biztosította a legjobb ismételhetőséget.

Valamennyi mérést ugyanaz a vizsgáló végezte. Az MRI-felvételek értékelése megelőzte a CT-felvételek elemzését, és a CT-mérések során a korábbi MRI-eredmények nem álltak rendelkezésre. Az ismételt vizsgálatokból származó, egyazon lóhoz tartozó adatok közötti összefüggések figyelembevételére vegyes hatású statisztikai modellek alkalmazása történt. A versenyterhelés jellemzésére az összes versenystart száma szolgált. A testtömeg és a marmagasság közötti összefüggés miatt a szezámcsontok és a condylusok többváltozós statisztikai modelljeiben a testtömeg és a marmagasság

aránya szerepelt. Az MRI- és CT-mérések közötti kapcsolat elemzése Spearman-féle korrelációval, a két képalkotó módszer mérési eredményei közötti különbségek összehasonlítása pedig nemparaméteres statisztikai próbákkal történt.

3. Eredmények

A kiindulási vizsgálatban 40, tíz különböző tréner istállójából származó, egyéves angol telivér (26 méncsikó és 14 kanca) vett részt. Az első kontrollvizsgálaton 31, a másodikon 23, a harmadikon 13, míg a negyediken 8 ló vett részt. A nyomon követésből való kiesés hátterében elsősorban a tulajdonosokkal vagy trénerekkel való együttműködés megszűnése, a tréning abbahagyása, valamint két, mozgásszervi sérüléstől független elhullás állt. A harmadik és negyedik kontrollvizsgálat idején valamennyi részt vevő ló aktív versenytréningben volt, és már legalább egy versenyen indult.

Az első, harmadik és negyedik kontrollvizsgálat során egyaránt három-három lónál volt megfigyelhető elülső végtagi sántaság, míg a második kontroll alkalmával nem volt kimutatható egyértelmű sántaság. A sántaság palmaris digitalis, abaxialis szezámcsonti vagy alacsony négypontos perineuralis érzéstelenítést követően jelentősen csökkent vagy megszűnt. A hosszú távú képalkotó vizsgálatok során megfigyelt elváltozások túlnyomó többsége tehát klinikailag jelentős csüdízületi fájdalom hiányában alakult ki.

3.1. A hármas metacarpalis csont sagittalis taraja

A sagittalis taraj átlagos attenuációja a tréning megkezdését követően jelentősen emelkedett. A dorsalis rész átlagos attenuációja a kiindulási 914,5 ± 92,2 HU-ról az első kontrollvizsgálatra 998,1 ± 84,7 HU-ra nőtt, majd a második kontroll alkalmával 999,8 ± 81,0 HU volt. A palmaris részen ugyanezen időpontokban 741,9 ± 74,4

HU, 806,0 ± 80,9 HU és 813,1 ± 86,9 HU értékek voltak mérhetők. A kiindulási és az első kontrollvizsgálat között mindkét régióban szignifikáns növekedés volt megfigyelhető ($p<0,001$), míg az első és a második kontroll között további szignifikáns változás nem következett be. A dorsalis rész attenuációja összességében szignifikánsan magasabb volt a palmaris részénél ($p=0,023$).

A sagittalis taraj dorsalis részén megfigyelhető hypoattenuáló elváltozások már a kiindulási vizsgálat során is gyakoriak voltak, azonban a nyomon követés során főként a regressziójuk volt jellemző. A kiindulási vizsgálatkor 80 végtagból 33-ban (41,3%), az első kontroll alkalmával 62-ből 22-ben (35,5%), míg a második kontroll során 46-ból 14-ben (30,4%) volt kimutatható ilyen elváltozás. A kontrollvizsgálatok során új elváltozás nem jelent meg, 11 végtagban pedig a korábban észlelt elváltozás már nem volt felismerhető. Egyetlen elváltozás mérete sem növekedett. Valamennyi elváltozás a sagittalis taraj dorsodistalis részén helyezkedett el, leggyakrabban axialis elhelyezkedéssel.

A dorsalis subchondralis csontlemez megvastagodása valamennyi vizsgálati időpontban a végtagok több mint 90%-ában jelen volt. Ezzel szemben a trabecularis csont egyenetlen, fokozott attenuációjának gyakorisága folyamatosan emelkedett: a kiindulási 17,5%-ról az első kontrollra 33,8%-ra, majd a második kontrollra 52,2%-ra nőtt. Az attenuációs értékek emelkedése és a trabecularis csontszerkezet változásai együttesen a tréning hatására bekövetkező jelentős csontátépülésre utalnak az első edzésév során.

3.2. Proximalis szezámcsontok

A proximalis szezámcsontok radiodenzitása a nyomon követés során szignifikánsan változott. Az átlagos HU-érték a kiindulási vizsgálatkor volt a legalacsonyabb (1064,0 ± 65,1 HU), majd fokozatosan emelkedett, és a harmadik kontrollvizsgálat során érte el a legmagasabb értéket (1194,5 ± 78,6 HU). A negyedik kontroll alkalmával az átlagos radiodenzitás 1109,4 ± 77,2 HU-ra csökkent, de továbbra is meghaladta a kiindulási értéket. A negyedik kontroll során mért legalacsonyabb HU-értékek egy olyan lóhoz tartoztak, amely nyolchetes pihenőt követően fokozatosan tért vissza a könnyű munkába. Ez jól szemlélteti a csontdenzifikáció terheléstől függő, dinamikus változását.

A többváltozós statisztikai modell alapján a szezámcsontok radiodenzitása szignifikáns összefüggést mutatott a versenyterheléssel: minden további versenystart átlagosan 6,1 HU növekedéssel járt ($p<0,001$). A nagyobb testtömeg/marmagasság arány szintén magasabb radiodenzitással társult (119,0 HU/egység, $p<0,001$). Emellett a medialis szezámcsontok radiodenzitása szignifikánsan magasabb volt a lateralisakénál ($p=0,01$).

A röntgenfelvételeken megfigyelhető abaxialis elváltozások közül az újcsontképződés gyakorisága összefüggést mutatott a szezámcsontok radiológiai fokozatával. A 3-as fokozatú szezámcsontok esetében az újcsontképződés előfordulásának esélye több mint hússzorosa volt a 0-s fokozatúakéhoz képest ($p=0,004$), és a lateralis szezámcsontokon gyakrabban fordult elő ($p=0,04$). Ezzel szemben az abaxialis szél

konkavitásának és a felszín egyenetlenségének előfordulási esélye az életkor előrehaladtával csökkent. Az ismételt röntgenvizsgálatok során mindkét elváltozás mérséklődése, esetenként teljes eltűnése is megfigyelhető volt, annak ellenére, hogy a lovak folyamatosan tréningben maradtak.

A szezámcsontok radiológiai fokozatainak időbeli változása nem mutatott egyértelmű, folyamatos romlást. A kiindulási és a negyedik kontrollvizsgálat között a 0-s és 3-as fokozatú szezámcsontok aránya emelkedett, míg az 1-es és 2-es fokozatúaké csökkent. Mindez arra utal, hogy a különböző radiológiai elváltozások a tréning és a versenyzés során eltérő módon változhatnak, és jelenlétük vagy súlyosságuk nem feltétlenül mutat folyamatos növekedést.

3.3. Metacarpalis condylusok denzifikációja

A condylusok vizsgálatában a kiinduláskor 39 ló vett részt, mivel egy ló esetében a vizsgálat közbeni mozgás miatt nem készültek megfelelő minőségű MR-felvételek. A hiányos MR-felvételekkel rendelkező condylusok kizárását követően összesen 438 condylus adatai kerültek elemzésre. A CT-mérések ismételhetősége a 2 mm-es rekonstrukciókon volt a legjobb (CV = 7,6%), ezért a további elemzések ezek alapján történtek.

A denzifikáció legnagyobb kiterjedése a képalkotó módszertől és a vizsgálati időponttól függetlenül leggyakrabban a condylusok középső harmadában volt megfigyelhető. Azokban a condylusokban, amelyekben a kiindulási vizsgálatkor az axialis vagy az abaxialis

harmadban volt a legkifejezettebb a denzifikáció, a nyomon követés során gyakran a középső harmad vált meghatározóvá, különösen a CT-felvételeken. Ez a terhelés hatására bekövetkező csontadaptációra utalhat.

Az MRI- és CT-mérések között közepes erősségű pozitív korreláció volt kimutatható a teljes condylusban mért legnagyobb denzifikáció esetében (Spearman-féle $\rho = 0{,}69$; $p<0{,}001$). Hasonló összefüggés volt megfigyelhető a középső harmadban is, míg az axialis és abaxialis harmadban gyengébb korreláció mutatkozott. A páros összehasonlítások során a CT-vel mért denzifikáció kiterjedése rendszerint nagyobb volt, mint az MRI-vel meghatározott érték. A két képalkotó módszerrel kapott mérési eredmények ezért nem tekinthetők egymással felcserélhetőnek.

A többváltozós vegyes hatású statisztikai modellek alapján a versenystartok számának növekedése mind az MRI-, mind a CT-felvételeken mért denzifikáció nagyobb kiterjedésével mutatott szignifikáns összefüggést ($p<0{,}001$). A nagyobb testtömeg/marmagasság arány szintén nagyobb kiterjedésű denzifikációval társult mind MRI-n ($p=0{,}001$), mind CT-n ($p=0{,}003$). A CT-felvételeken a középső harmadban mért értékek magasabbak voltak az abaxialis harmadban mérteknél ($p=0{,}05$).

4. Megbeszélés és következtetések

A doktori kutatás egyik legfontosabb megállapítása, hogy az aktív tréningben lévő angol telivér versenylovak csüdízületében jelentős sántaság hiányában is kifejezett csontszerkezeti elváltozások alakulhatnak ki. A sagittalis taraj, a proximalis szezámcsontok és az McIII condylusainak területén a csont radiodenzitása, illetve a denzifikáció kiterjedése a tréning- és versenyterheléssel párhuzamosan növekedett. A változások azonban nem minden esetben voltak egyirányúak: a csökkent terhelés alacsonyabb szezámcsonti radiodenzitással társult, míg egyes, CT- és röntgenfelvételeken látható körülírt elváltozások idővel mérséklődtek vagy teljesen eltűntek.

A sagittalis taraj attenuációja a tréning első hat hónapjában jelentősen emelkedett, majd ezt követően lényegében változatlan maradt. Ez a folyamat a fokozott mechanikai terheléshez való korai csontadaptációval magyarázható. A dorsalis rész magasabb denzitása biomechanikai szempontból is indokolható, mivel ez a terület terhelés közben közvetlenül érintkezik a csüdcsont sagittalis árkával. A subchondralis csontlemez gyakori megvastagodása és a trabecularis csont fokozott attenuációjának növekvő előfordulása ugyanakkor arra utal, hogy a képalkotó elváltozások értelmezésekor azok elhelyezkedése mellett az időbeli változásokat is figyelembe kell venni.

Klinikai szempontból különösen fontos a sagittalis taraj dorsalis részén megfigyelt hypoattenuáló elváltozások időbeli alakulása. Ezek már a kiindulási vizsgálatkor gyakoriak voltak, azonban a nyomon követés során méretük nem növekedett, több végtagban pedig mérséklődtek vagy teljesen eltűntek. Az eredmények alapján a fiatal lovak sagittalis taraján megjelenő kisebb, dorsalis hypoattenuáló elváltozások önmagukban nem feltétlenül utalnak kóros folyamatra. Klinikai jelentőségük megítéléséhez az elváltozás alakjának, a környező sclerosis mértékének, a klinikai tüneteknek és az időbeli változásoknak az együttes értékelése szükséges.

A proximalis szezámcsontok radiodenzitása szoros összefüggést mutatott a versenyterheléssel. A versenystartok számával kimutatott pozitív kapcsolat, valamint a csökkent tréningterhelést követően megfigyelt HU-csökkenés arra utal, hogy a szezámcsontok denzifikációja dinamikus, részben visszafordítható, terhelésfüggő folyamat. A medialis szezámcsontok magasabb radiodenzitása a medialis és lateralis csontok közötti eltérő mechanikai igénybevételre utalhat. A testtömeg és a marmagasság arányával kimutatott összefüggés alapján a testmérethez kapcsolódó mechanikai terhelés szintén szerepet játszhat a csontszerkezet változásában.

A szezámcsontok röntgenfelvételeken látható elváltozásainak értelmezése ugyancsak körültekintést igényel. Az abaxialis újcsontképződés magasabb radiológiai fokozattal mutatott összefüggést, így kifejezettebb adaptív vagy kóros csontátépülés jele

lehet. Ezzel szemben az abaxialis szél konkavitása és a felszín egyenetlensége az életkor előrehaladtával ritkábban fordult elő, és az ismételt röntgenvizsgálatok során aktív tréning mellett is mérséklődhetett vagy eltűnhetett. Mindez hangsúlyozza a hosszú távú nyomon követés jelentőségét, mivel az elváltozások időbeli változásainak ismerete többletinformációt nyújthat az egyetlen időpontban végzett képalkotó vizsgálathoz képest.

Az McIII condylusainak területén a denzifikáció legnagyobb kiterjedése leggyakrabban a középső harmadban volt megfigyelhető. Mind az MRI-, mind a CT-felvételeken a növekvő versenyterhelés nagyobb kiterjedésű denzifikációval társult. A vizsgálat során azonban nem került meghatározásra olyan küszöbérték, amely alapján a törés kialakulásának kockázata közvetlenül megítélhető lenne. A denzifikáció ezért önmagában nem tekinthető fáradásos csontsérülésnek, hanem olyan képalkotó elváltozásként értelmezendő, amelynek klinikai jelentősége további tényezőktől is függ.

Az MRI- és CT-mérések közötti közepes erősségű korreláció arra utal, hogy a két képalkotó módszer ugyanazon csontszerkezeti folyamat különböző jellemzőit ábrázolja. A két módszerrel kapott eredmények között azonban szisztematikus különbség volt megfigyelhető, mivel a CT-vel mért denzifikáció kiterjedése következetesen nagyobb volt az MRI-vel meghatározott értékeknél. Ennek hátterében többek között a szeletvastagság, a térbeli felbontás

és a képalkotás eltérő fizikai alapjai állhatnak. Míg a CT a mineralizált csont szerkezetét ábrázolja, addig MRI-n a denzifikáció elsősorban csökkent jelintenzitású területként jelenik meg. A két módszerrel kapott mérési eredmények ezért nem alkalmazhatók egymás helyettesítésére, és külön, az adott képalkotó módszerre vonatkozó referenciaértékek meghatározása szükséges.

A kutatás legfontosabb korlátját a nyomon követésből kieső lovak jelentős száma jelentette, amely a versenylovakon végzett hosszú távú vizsgálatok egyik gyakori nehézsége, és szelekciós torzításhoz vezethet. A későbbi vizsgálati időpontokban a mintaszám jelentősen csökkent. Emellett a tréningprogramok nem voltak egységesek, a HU-mérések kalibrációs fantom nélkül történtek, és kórszövettani vizsgálatra sem került sor. Sántaság esetén intrasynovialis diagnosztikai érzéstelenítés nem történt. Az eredmények ezért elsősorban a vizsgált populációra vonatkozó, hosszú távú referenciaadatokként értelmezhetők, és nem tekinthetők általánosan alkalmazható diagnosztikai küszöbértékeknek.

Összességében az ismételt FBCT-, alacsony térerejű MRI- és röntgenvizsgálatok alapján a fiatal angol telivér versenylovak csüdízületében a tréning és a versenyzés során jelentős, terhelésfüggő csontátépülés figyelhető meg. A sagittalis taraj, a proximalis szezámcsontok és az McIII condylusainak denzifikációja általában növekedett a terheléssel, ugyanakkor egyes körülírt elváltozások aktív tréning mellett is mérséklődhettek vagy

eltűnhettek. Az MRI- és CT-mérések közötti szisztematikus különbségek miatt az eredmények képalkotó módszerenként eltérő értelmezést igényelnek. A kutatás során nyert hosszú távú adatok hozzájárulhatnak a terheléshez való élettani csontadaptáció és a korai kóros elváltozások elkülönítéséhez, ezáltal segíthetik a versenylovak szűrővizsgálatainak értékelését, a klinikai döntéshozatalt és a jövőbeli sérülésmegelőzési kutatásokat.

5. Új tudományos eredmények

5.1. Prospektív, longitudinális, multimodális képalkotó adatbázis jött létre a tréning megkezdésekor sántaságmentes angol telivér versenylovak elülső csüdízületeiről, mintegy két és fél éven keresztül végzett ismételt CT-, MRI- és röntgenvizsgálatok alapján.

5.2. Az aktív versenytréning során az McIII condylusaiban és sagittalis tarajában, valamint a proximalis szezámcsontokban jelentős, a terheléssel összefüggő, többnyire fokozódó csontátépülés figyelhető meg, akár klinikailag jelentős sántaság hiányában is.

5.3. Az McIII sagittalis tarajának átlagos attenuációja jelentősen növekszik a versenytréning első hat hónapjában.

5.4. A sagittalis taraj dorsalis részének átlagos attenuációja magasabb, mint a palmaris részé.

5.5. A sagittalis taraj dorsalis részén előforduló hypoattenuáló elváltozások alakja változatos. Méretük a tréning első évében csökkenhet, egyes elváltozások pedig teljesen eltűnhetnek.

5.6. A proximalis szezámcsontok radiodenzitása pozitív összefüggést mutat a versenystartok számával.

5.7. A csökkentett tréningterhelés a proximalis szezámcsontok radiodenzitásának csökkenésével társulhat.

5.8. Aktív tréning mellett is megfigyelhető a proximalis szezámcsontok radiológiai fokozatának javulása, valamint az abaxialis szél konkavitásának és felszíni egyenetlenségeinek mérséklődése vagy teljes eltűnése.

5.9. Az McIII condylusainak denzifikációjára vonatkozó lineáris CT-mérések során a 2 mm-es rekonstrukciós szeletvastagság biztosítja a legjobb ismételhetőséget.

5.10. Az McIII condylusainak területén a denzifikáció legnagyobb kiterjedése leggyakrabban a középső harmadban figyelhető meg.

5.11. Az FBCT- és alacsony térerejű MRI-vizsgálattal meghatározott denzifikáció kiterjedése között közepes erősségű pozitív korreláció, ugyanakkor szignifikáns különbség mutatható ki. A CT-vel mért értékek rendszerint nagyobbak, ezért az MRI alapján meghatározott küszöbértékek nem alkalmazhatók közvetlenül a CT-vizsgálatokra.

5.12. Az McIII condylusaiban kialakuló denzifikáció kiterjedése pozitív összefüggést mutat a versenystartok számával, valamint a testtömeg és a marmagasság arányával.

6. A doktori kutatás eredményeinek közlései

a) Lektorált tudományos folyóiratokban megjelent közlemények

1. Boros K, Nagy A. Diseases of the fetlock joint in Thoroughbred racehorses. Part 1: The role of biomechanics and bone adaptation in the development of injuries. Literature review. Hungarian Veterinary Journal 2022;144:387-396.
2. Boros K, Nagy A. Diseases of the fetlock joint in Thoroughbred racehorses. Part 2: Articular and osseous abnormalities. Hungarian Veterinary Journal 2023;145:67-80.
3. Boros K; Dyson S, Kovács Á, Lang Z, Nagy A. Computed Tomographic Evaluation of the Sagittal Ridge of the Third Metacarpal Bone in Young Thoroughbred Racehorses: A Longitudinal Study. Animals. 2024;14(5):812. https://doi.org/10.3390/ani14050812
4. Boros K, Dyson S, Pollard D, Nagy A. A longitudinal study of radiodensity and radiographic appearance of the proximal sesamoid bones in Thoroughbred racehorses. Equine Vet J. 2026;58(4):946-958. https://doi.org/10.1111/evj.70075

b) Konferencia-előadások és poszterek

Hazai

1. Magyar Lógyógyász Állatorvosok Egyesületének Konferenciája 2022, Vecsés - Sántaságmentes éves angol telivérek elülső csüdízületeinek komputertomográfiás és röntgenelváltozásai, kutatási beszámoló

2. Magyar Tudományos Akadémia Állatorvos-tudományi Bizottság, Állatorvostudományi Doktori Iskola, Akadémiai beszámolók 2023, Budapest - Sántaságmentes éves angol telivérek elülső csüdízületeinek komputertomográfiás és röntgenelváltozásai
3. Magyar Lógyógyász Állatorvosok Egyesületének Konferenciája 2023, Kecskemét - A hármas metacarpalis csont sagittalis tarajának komputertomográfiás elváltozásai angol telivér versenylovakban a tréning első évében, kutatási beszámoló
4. Magyar Tudományos Akadémia Állatorvos-tudományi Bizottság, Állatorvostudományi Doktori Iskola, Akadémiai beszámolók 2024, Budapest - Angol telivér versenylovak elülső csüdízületeinek összehasonlító képalkotó vizsgálata: egy longitudinális tanulmány
5. Magyar Agrártudományi Doktoranduszok Szimpóziuma 2024, Budapest - A hármas metacarpalis csont sagittalis tarajának komputertomográfiás elváltozásai angol telivér versenylovakban a tréning első évében
6. Magyar Lógyógyász Állatorvosok Egyesületének Konferenciája 2024, Gárdony - A proximalis szezámcsontok röntgen és komputertomográfiás vizsgálata angol telivér versenylovakban: egy longitudinális tanulmány, kutatási beszámoló
7. Magyar Tudományos Akadémia Állatorvos-tudományi Bizottság, Állatorvostudományi Doktori Iskola, Akadémiai beszámolók 2025, Budapest - A proximalis szezámcsontok röntgen és komputertomográfiás vizsgálata angol telivér versenylovakban: egy longitudinális tanulmány

8. Egyetemi Kutatói Ösztöndíj Program Konferencia 2025, Budapest - A metacarpalis condylusok összehasonlító mágneses rezonanciás és komputertomográfiás vizsgálata angol telivér versenylovakban, kutatási beszámoló
9. Magyar Tudományos Akadémia Állatorvos-tudományi Bizottság, Állatorvostudományi Doktori Iskola, Akadémiai beszámolók 2026, Budapest - A metacarpalis condylusok összehasonlító mágneses rezonanciás és komputertomográfiás vizsgálata angol telivér versenylovakban
10. Magyar Tudományos Akadémia, 200 éves a Magyar Tudományos Akadémia, 2026, Budapest - MRI- és CT-elváltozások angol telivér versenylovak csüdízületében

Nemzetközi

1. Boros K, Dyson S, Nagy A. Computed tomographic and radiographic findings in the metacarpophalangeal joint of Thoroughbred yearlings. British Equine Veterinary Association Congress 2022, Liverpool, clinical abstract, https://doi.org/10.1111/evj.12_13855
2. Boros K, Dyson S, Nagy A. Computed tomographic evaluation of the sagittal ridge of the third metacarpal bone in Thoroughbred racehorses in their first year of training: a longitudinal study. European College of Veterinary Sports Medicine and Rehabilitation Congress 2023, Paris, clinical abstract
3. Boros K, Dyson S, Pollard D, Nagy A. Radiographic and computed tomographic evaluation of the proximal sesamoid

bones in Thoroughbred racehorses: a longitudinal study. European Veterinary Diagnostic Imaging Congress 2024, Athens, clinical abstract, https://doi.org/10.1111/vru.13470

4. Boros K, Pollard D, Nagy A. Longitudinal computed tomographic and magnetic resonance imaging evaluation of bone density changes in the metacarpal condyles of Thoroughbred racehorses. International Conference: Applying Science to the Care of the Thoroughbred Racehorse 2025, Hong Kong, poster presentation

5. Boros K, Dyson S, Pollard D, Nagy A. Comparative computed tomographic and magnetic resonance imaging evaluation of metacarpal condylar densification in Thoroughbred racehorses. British Equine Veterinary Association Congress 2026, Birmingham, clinical abstract