

**Application of the cross sectional diagnostic imaging methods (CT and MR) in anatomical 3D reconstructions**

**Part 2. Soft tissue and bone reconstruction. CT and MR fusion modeling of the equine stifle joint**

Ö. Petneházy<sup>1\*</sup>, K. Czeibert<sup>3</sup>,  
T. Donkó<sup>1</sup>, Á. Csóka<sup>1</sup>, Sz. A. Nagy<sup>4</sup>,  
A. Lassó<sup>5</sup>, I. Biksi<sup>6</sup>, P. Zádori<sup>2</sup>,  
R. Garamvölgyi<sup>1</sup>, G. Bajzik<sup>1</sup>,  
Zs. Vajda<sup>2</sup>, Gy. Falk<sup>7</sup>, I. Repa<sup>1</sup>

1. Kaposvári Egyetem, Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézet, Kaposvár

\*e-mail: petnehazy.ors@sic.ke.hu

2. Kaposvári Egyetem, Egészségügyi Központ, Kaposvár

3. Eötvös Loránd Tudományegyetem, Etológia Tanszék, Budapest

4. Pécsi Diagnosztikai Központ, MTA-PTE - Stressz Neurobiológia Kutatócsoport, Szentágothai Kutatóközpont és MTA-PTE Klinikai Idegtudományi Képző Kutatócsoport, Pécs

5. School of Computing, Queen's University, Kingston, Canada

6. Állatorvostudományi Egyetem, Haszonállat-gyógyászati Tanszék és Klinika, Üllő

7. Varinex Zrt, Budapest

# Keresztmetszeti képalkotó eljárások (CT és MR) használata az anatómiai 3D rekonstrukciókban

## II. rész: Lágyszöveti és csontos képletek rekonstrukciója. A ló térdízületének CT és MR fúziós modellje

**Petneházy Örs<sup>1\*</sup>, Czeibert Kálmán<sup>3</sup>, Donkó Tamás<sup>1</sup>, Csóka Ádám<sup>1</sup>, Nagy Szilvia Anett<sup>4</sup>, Lassó András<sup>5</sup>, Biksi Imre<sup>6</sup>, Zádori Péter<sup>2</sup>, Garamvölgyi Rita<sup>1</sup>, Bajzik Gábor<sup>1</sup>, Vajda Zsolt<sup>2</sup>, Falk György<sup>7</sup>, Repa Imre<sup>1</sup>**

### ÖSSZEFOGLALÁS

A szerzők jelen tanulmányukban a ló térdízületének, keresztmetszeti képalkotással (CT, MR) nyert adatokból, képfúzió segítségével létrehozott, digitális 3D modelljeit mutatják be. Röviden ismertetik a mágneses rezonanciás vizsgálat technikai alapjait, irodalmi adatok alapján áttekintik a ló térdízületének CT és MR anatómiáját. A cikksorozat ezen, második részében a ló térdízületének csontos és lágyszöveteket tartalmazó 3D rekonstrukciós modelljét mutatják be.

### SUMMARY

**Background:** Computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MR) became important diagnostic tools in the veterinary practice in the past decades. Data gained with those scanning methods can be used for 3D displaying of different organs, organ systems and body regions as well. There are numerous reconstructional softwares to create high detailed and precise 3D anatomical models of the target area, based on those datasets.

**Objectives:** The authors present their own results about the 3D reconstruction of the bony and soft tissues of the equine stifle joint, based on image fusion of CT and MR data.

**Material and Methods:** A Siemens Definition Flash Dual Source 2x128 slices CT and a Simens Avanto 1.5T MR scanner was used to scan the stifle joint of an 8 years old mare horse. The resulting DICOM data were reconstructed with the 3DSlicer software using manual, semi-automatic and automatic segmentations. First the bony structures of the stifle were reconstructed from the CT dataset. The soft tissues of the stifle joint: cavities of the femoropatellar, medial femorotibial, lateral femorotibial, subextensory recess of the lateral femorotibial joints, the menisci, and the different ligaments were reconstructed after the image fusion of the MR data with the 3D bony model from created from the CT.

**Results and discussion:** In the second part of this article series the authors give a short review about the technical details of the MR imaging method, the CT and MR anatomy of the equine stifle and the procedure how they created the 3D model.

The authors created 3D models from the bones of the equine stifle from the CT data set. In the second step they made an image fusion with the MR data of the same stifle joint. The methods used for these reconstructions can be used for other organs, organ systems or body regions as well but require high contrast difference between the different anatomical structures or tissues. If such contrast deviations are not present naturally, contrast enhancement for the scanning procedures (in vivo contrast media administration, post mortem contrast enhancement methods) could be used.

Cikksorozatunk második részében a mágneses rezonanciás képalkotás (MR) alapjait mutatjuk be.

Az MR, az ún. páratlan nukleonszámú elemek atommagjainak mágneses tulajdonságának változásait méri, két különböző mágneses mező, rádiófrekvenciás (RF) impulzusok és antennaként működő tekercsek alkalmazásával. Az MR-készülék rendelkezik egy állandó mágnessel és gradiens tekercsekkel, amelyekkel a mágneses tér iránya változtatható a vizsgálat során. Az emberi és állati testben nagy mennyiségben található hidrogén, amelynek atommagja (egy darab proton) kis elemi mágnesként viselkedik és saját mágneses momentummal rendelkezik. A különböző szövetek (víz, fehérjék, szénhidrátok, zsírok, szöveti folyadékok stb.) eltérő mennyiségben és molekuláris kölcsönhatásban tartalmaznak hidrogént/protonokat (mint kis elemi mágneseket), amelyekre hatást gyakorol az MR-ben lévő mágneses mező. Az ebben a térben lévő protonokat RF-impulzusokkal gerjesztik. Ezt követően a protonok leadják a gerjesztés folyamán szerzett energiájukat RF-hullámok formájában, amelyeket tekercsekkel, mint antennákkal mérünk. Ezekből a jelekből szoftveres úton állítja elő a készülék a szürkeárnyaltos képeket, képsorozatokat (13).

Jelen cikkünkben a ló térdízületének csontos képleteit, ízületi üregeit, szalagjait és a meniscusokat rekonstruáltuk. Ennek során alkalmaztuk a képfúzió módszerét (azonos területről, különböző modalitásokkal – CT és MR – készült felvételek egy sorozattá egyesítése), majd a csontokat automata módszerrel jelenítettük meg (a CT-adatokból), míg a lágy szöveti képleteket (az MR-sorozatból) félautomata és kézi jelöléssel emeltük ki.

*Az MR, az ún. páratlan nukleonszámú elemek atommagjai mágneses tulajdonságának változásait méri*

*A szerzők a ló térdízületének csontos képleteit, ízületi üregeit, szalagjait és a meniscusokat vizsgálták*

### **A ló térdízületének CT és MR anatómiája**

A ló térdízületének összehasonlító MR-anatómiájával több szerző foglalkozott. HOLCOMBE és mtsai két darab, lótetemből származó térdet vizsgáltak 1.5 T térerejű készüléken. T1-súlyozott sorozatokat készítettek, majd a felvételeket összehasonlították a boncolás során készült, ill. fagyasztva fűrészelt keresztmetszeti képekkel. Megállapították, hogy az MR nagyon jól ábrázolta a lágy szöveti és a csontos képleteket és mindezt jobb részletességgel, mint az egyéb (röntgen és ultrahang) vizsgáló eljárások. Az artroszkópiával összehasonlítva megemlíti, hogy ez a vizsgálat nem invazív és a különböző, az ízületet alkotó részek behatóbb vizsgálatát teszi lehetővé (4). STRAATEN munkájában részletes képet ad a ló térdízületének MR-anatómiájából. 18 darab különböző korú és méretű, egészséges lóból származó ízületet vizsgáltak, T1 3D spoiled gradient echo, T2 3D spoiled gradient echo, STIR és PD (proton density) súlyozott felvételeken, amiket összehasonlítottak 3 különböző (transversalis, dorsalis és sagittalis) síkú, fagyasztva fűrészelt anatómiai felvétellel. Kiemeli, hogy bár a tetemekből származó ízületek MR-felvételei eltérhetnek az élő állat vizsgálata során nyerhető sorozatoktól (szövetek esetleges vízvesztése, a minták hűtve tárolása, a véráramlás hiánya), azok az anatómiai felvételekkel pontos átfedéseket mutattak. Statisztikai elemzést és méreteket nem közöltek (10). SANTOS és mtsai kis térerejű (0.25 T), mozgatható MR-készülékkel vizsgáltak egészséges lovak tetemből származó térdeket. A felvételek kiértékelése után az elváltozásokat mutató területekről mintákat vettek (szalagok, meniscusok és ízületi porcfelszínek), majd kórszövettani elemzést végeztek. Megállapították, hogy a boncolás során több elváltozás súlyosabb képet mutatott, mint az MR-felvételeken. Ugyanakkor kiemelik egyes műtermékeknek az intra-artikuláris képletek megítélésére gyakorolt kedvezőtlen hatását (9). VAN DER VEKENS és mtsai a térdízület CT-artrográfiás vizsgálatát és összehasonlító keresztmetszeti anatómiai vizsgálatát végezték el 16 darab (8 állatból származó) hátulsó végtagon. Az ízületi üregeket higított jódtartalmú (300mg/ml jód és fiziológiás

*A tetemekből származó ízületek MR-felvételei eltérhetnek az élő állat vizsgálata során nyerhető sorozatoktól*

sóoldat 1:1 arányú keveréke) kontrasztanyaggal töltötték fel. A preparátumokról natív és posztkontrasztos felvételeket készítettek. Az elkészült sorozatokat 0.5 mm-es szeletvastagsággal rekonstruálták, majd összehasonlították a fagyasztva fűrészelt anatómiai felvételekkel. Az alkalmazott technikával a térdízületet alkotó képletek jó felbontással azonosíthatóak voltak, a legtöbb elem formája, mérete és belső szerkezete is értékelhető volt. A különböző struktúrák Hounsfield (HU) értékéről egy statisztikai elemzést is készítettek (12). Élő lovak térdízületének CT-artrográfias vizsgálatát végezték el BERGMAN és mtsai. Az állatok végtagját nyújtott helyzetben rögzítették és két, egy natív és egy kontrasztanyagot készítették róluk. Leírják, hogy ezzel a módszerrel a teljes térdízület leképezése nem volt lehetséges, a lovak mérete miatt a femoropatellaris ízület proximalis részét és a patella alapját már nem lehetett a gantry-be helyezni. A femorotibialis ízület mindkét oldala (articulatio femorotibialis medialis et lateralis) jól vizsgálható volt. A kontrasztanyagot minden esetben ultrahang vezérelve juttatták be az ízületi üregekbe. A prekontrasztos felvételeken a collateralis szalagok, a meniscusok, a kereszteződő szalagok jól vizsgálhatók voltak. A kontrasztanyag adása után készült sorozatokon mindezen képleteken túl a meniscotibialis szalagok, a meniscofemoralis szalag is jól értékelhető volt. Megállapítják, hogy az artrográfias CT-vizsgálat a térdízület különböző sérüléseinek megítélésében jobbnak bizonyult, mint az ultrahang és a röntgen (1).

## SAJÁT VIZSGÁLAT

### ANYAG ÉS MÓDSZER

Vizsgálatainkat a Kaposvári Egyetem Diagnosztikai és Onkoradiológiai Intézetében végeztük. A bemutatott rekonstrukció alapjául szolgáló CT-felvételek Siemens Definition Flash Dual Source 2 × 128 szeletes CT-berendezésen (Siemens AG, Erlangen, Németország) készültek. Az MR-vizsgálat Siemens Magnetom Avanto (Siemens AG, Erlangen, Németország) 1.5T térerejű készülékkel készült.

#### *A preparátum előkészítése a vizsgálatra*

A vizsgálatokhoz egy 8 éves magyar sportló kanca tetemének jobb hátulsó végtagját használtuk. Az állat nem a csontváz- és az izomrendszert érintő megbetegedés miatt hullott el, hátulsó végtagot érintő megbetegedés, ill. sántaság nem szerepelt a kórtörténetben. A végtagot a kórbonctani vizsgálat során választottuk le a törzsről, majd egy napon keresztül 4 °C-on tároltuk.

A comb és a szár izmait a femur, ill. a szár közepének síkjánál lefejtettük, a térdízület recessusaitól proximalis (recessus suprapatellaris) és distalis (recessus subextensorius) irányban megfelelő távolságot tartva. A femur-t és a tibia-t középmagasságban, a hossz tengelyükre merőlegesen elfűrésztük.

A ló végtagjának ízületeit felépítő képletek (csont, porc, ízületi folyadék, szalagok) az MR-vizsgálat során nagyon jó kontrasztviszonnyal rendelkeznek, egymástól jól elkülöníthetők. Célunk a minél jobb szöveti elkülönítés volt, ezért a különálló ízületi zsákokat (art. femoropatellaris, art. femorotibialis lateralis et medialis) az MR-artrográfiahoz hasonlóan, MR-kontrasztanyag (Gadovist, Bayer, 157,25 mg gadolínium/ml) és fiziológiás sóoldat (0.9% NaCl) 1:500 arányú keverékével az alábbi módon feltöltöttük:

**1. Articulatio femoropatellaris.** A patella medialis (lig. patellae mediale) és intermedialis (lig. patellae intemedium) szalagja között, dorsalis irányban szúrunk az ízületi tokba, a combcsont trochlea ossis femorisa és a patella között található rés irányába. A szúrás után a kanülön keresztül szalmasárga synovia jelent meg, így megbizonyosodtunk a kanül megfelelő helyeződéséről. A feltöltésre használt folyadék mennyisége 120 ml volt. Az ízületi tok repedése nem volt megfigyelhető, az ízület a bejuttatott folyadékot 1 óra elteltével is megtartotta.

*A vizsgálatokhoz egy 8 éves magyar sportló kanca tetemének jobb hátulsó végtagját használták, amelynek nem voltak mozgásszervi megbetegedései*

*Az MR-vizsgálatokhoz gadolíniumtartalmú kontrasztanyaggal töltötték fel az ízületi zsákokat*

**2. Articulatio femorotibialis medialis.** A femorotibialis ízület medialis szalagja (lig. collaterale mediale) előtt és a medialis meniscus felett, a combcsont medialis condylusa előtt, horizontális irányban szúrtunk az ízületi tokba. A szúrás után a kanülön keresztül synoviat tudunk szívni, megbizonyosodva a kanül megfelelő helyzetéről. A feltöltésre használt folyadék mennyisége 120 ml volt. Az ízületi tok repedése nem volt megfigyelhető, folyadék nem ürült.

**3. Articulatio femorotibialis lateralis.** Az ízületi üreget a recessus subextensorius-on keresztül töltöttük fel. A m. fibularis tertius (tendo femorotarseus) ina alatt értük el az ízületi tok kiöblösödését, proximalis irányban. A kanülön, behelyezése után synovia ürült. A feltöltésre használt folyadék mennyisége 120 ml volt. Az ízületi tok repedése itt sem volt megfigyelhető, az ízület a bejuttatott folyadékot 1 óra elteltével is megtartotta. Feltöltés után a térdízületet többször átmozgattuk, a kontrasztanyag egyenletes eloszlata céljából.

Az előkészített preparátumot egy PVC félcsőbe helyeztük – lateralis oldalával lefelé – enyhén nyújtott helyzetben, a csontvégeket elmozdulás ellen rögzítve. A térdízület helyzete megfelelt egy oldalfeketésben vizsgált ló végtagpozíciójának. A preparátum elmozdulásmentes rögzítése kiemelten fontos volt a későbbi képfúzió szempontjából, mivel a két vizsgálatot az ízületet azonos helyzetben tartva kellett elvégezni.

### CT-vizsgálat

*A CT-vizsgálat során a combcsont közepétől a szár közepéig 359 harántsíkkú felvétel készült*

A combcsont közepétől a szár közepéig 359 harántsíkkú felvétel készült, az alábbi beállításokkal: 120 kV, 80 mAs, kollimáció 0,6; pitch 0,8; spirál scanning mode, 0,6 mm-es szeletvastagság. A vizsgálat során a FOV (512 × 512) által határolt terület centruma a tibia area intercondylaris centralis-án volt. A rekonstrukcióhoz alkalmazott algoritmus B30s volt.

### Az alkalmazott MR-szekvenciák

*T1\_vibe\_we\_iso* szekvencia: Volumetric Interpolated Breath-hold Examination vagy VIBE egy ultragyors gradiens echo MR-szekvencia. Nevéből következik, hogy nagy térfogatok, pl. teljes mellkas, felhas légzésvisszatartásban történő vizsgálatára alkalmazták először. A gyorsaságot kihasználva később kisebb mérési térfogatok, pl. ízületek nagy felbontású 3D leképezésére is optimalizálták. Az így kialakított szekvencia képein az ízületi porc nagy jelintenzitású, az ízületi üreget kitöltő fiziológiás sóoldat közepes jelintenzitású, az intraarticularis képletek (szalagok, meniscusok) kis jelintenzitásúak. A T1 súlyozás miatt a szekvencia kiválóan alkalmas az ízületi üregbe juttatott kontrasztanyaggal végzett MR arthrográfias vizsgálatokra.

A *T1\_vibe\_we\_iso* szekvencia beállításai:

TR (repetíciós idő): 13,8 ms  
TE (echo idő): 6,06 ms  
Szeletvastagság: 0,5 mm  
Pixelméret: 0,5 × 0,5 mm  
FOV (field of view): 256 × 256 mm<sup>2</sup>

A *T2\_fi3d\_iso* szekvencia: A T1-súlyozott felvételek mellett szándékunk volt azonos képalkotási paraméterekkel 3D izotrópikus T2-súlyozott mérés elkészítése is. A kellő jel-zaj viszony és a megfelelő mérési idő elérésére választottuk ezt a szekvenciát. A felvételeken az ízületet kitöltő folyadék nagy jelintenzitású, az ízületi porc közepes jelintenzitású, az intraarticularis képletek kis jelintenzitásúak.

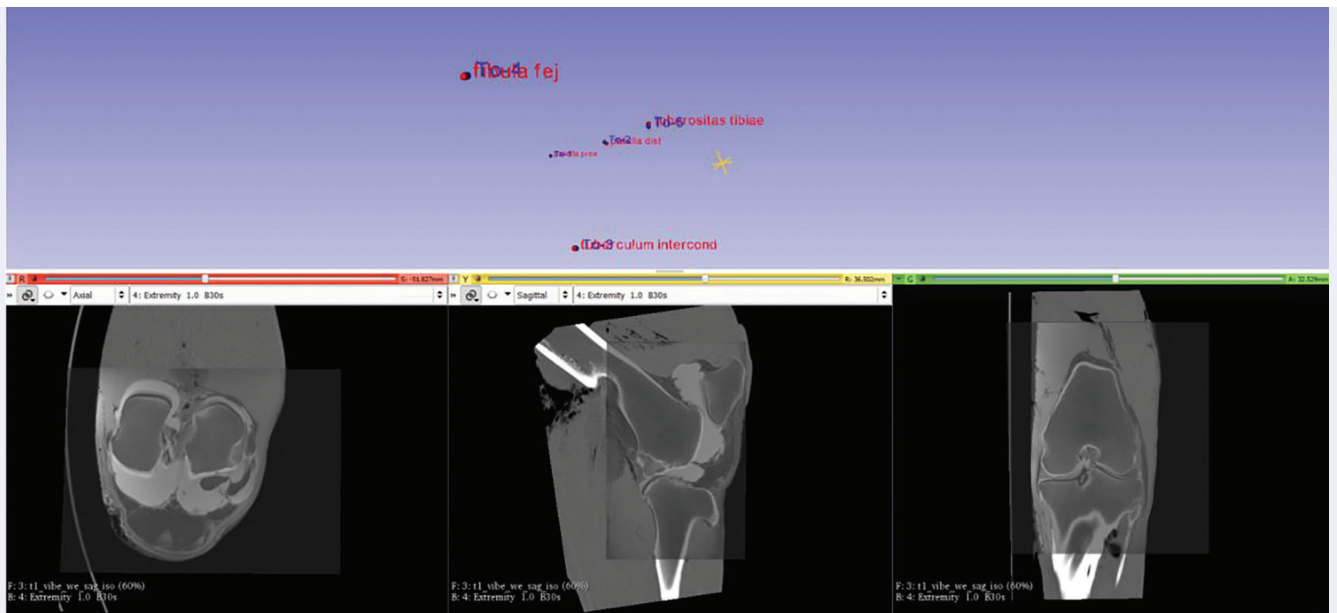
A *T2\_fi3d\_iso* szekvencia beállításai:

TR (repetíciós idő): 11 ms  
TE (echo idő): 4,76 ms  
Szeletvastagság: 0,5 mm  
Pixelméret: 0,5 × 0,5 mm  
FOV (field of view): 256 × 256 mm<sup>2</sup>

**Az adatok feldolgozása során a CT- és MR-felvételeket egymásba forgatták**

**Az adatok feldolgozása, a 3D modell elkészítése**

Az ízületet alkotó képletek minél pontosabb rekonstrukciójához a két modali-tás nyújtotta előnyöket a képregisztráció segítségével aknáztuk ki, amely eljárás során a natív CT- és a kontrasztanyag, T1-súlyozott MR-sorozatokat merev-test-transzformációval egymásba forgattuk. A képfúzióhoz és a rekonstrukciók-hoz használt szoftver a szabad forráskódú 3DSlicer (v. 4.7.0 *nightly build*) volt (3). A DICOM formátumú adatokat a DICOM browser modul segítségével olvastuk be a programba. Az MR-felvételeket a slice viewerben foreground sorozatként, míg a CT-képeket background sorozatként állítottuk be. Az ablakolás beállításai a CT esetén: WL: 839, WW: 2267, az MR esetén WL: 1159 és WW: 3000 voltak. Az *IGT (Image Guided Therapy)* modul, *Fiducial Registration Wizard* menüjével először a CT-sorozatokon bejelöltük a *From fiducials* markereket, olyan, anatómiaiailag pontosan felismerhető pontokon, amelyeket az MR-felvételeken is biztosan azonosítani lehetett. Ezek a képletek sorrendben: a patella basis-ának proximalis végpontja, a patella distalis csúcsa, a tibia tuberculum intercondylare laterale felső pontja, a tuberositas tibiae proximalis végpontja és a fibula fejének proximalis vége voltak. Az MR-felvételeken ugyanezen pontokra a *To fiducials* jelöléseket illesztettük, majd a modul segítségével a két képsorozatot egymásba transzformáltuk. Az illesztés során a root mean square error értéke 0.9802 volt. A képfúzió eredményeként létrejött képsorozatban a CT- és az MR-sorozat egymásra vetülve, anatómiaiailag megfelelő pozícióban látszottak (1. ábra).



**1. ÁBRA.** Három nézeti kép a 3DSlicer kezelőfelületén a transzformáció után. A CT- és az MR-sorozatok jól illeszkednek egymásra. A piros mező a horizontális, a sárga mező a sagittalis, míg a zöld mező a transversalis síkot ábrázolja. A felső, 3D nézeti mezőben ellenőrizhető a fiducial-ok pozíciója. A 3D nézeti képen, az ellenőrzés alatt a modell ki van kapcsolva

**FIGURE 1.** Multi slice view in 3DSlicer after the transformation completed. The CT and MR series are in correct position. The red area shows the horizontal view, the yellow the sagittal and the green are the transverse view of the stifle joint. In the upper, 3D area the positions of the fiducials can be checked. In the 3D view the model is not shown during the fiducials check

A program Editor moduljában először a CT-felvételekből a *Threshold effect* segítségével beállítottuk a csontos képletek rekonstruálásához szükséges tartományt (350–1980 HU), elkészítve a csontok (femur, patella, tibia, fibula) label-jét. Következő lépésekben a már fedésben lévő MR-felvételeken az *Editor modul*

Kézi azonosítást alkalmaztak a hasonló jelintenzitással rendelkező képletek határán

segítségével a térdízület lágyrészeit (meniscus-ok, szalagok, ízületi üregek) manuális módban a *Paint effect*, *Draw effect*, *Wand effect* és *Level tracing* editorokkal rekonstruáltuk. A csontos és lágyrészeket tartalmazó labellekből a *Make model* modulban állítottuk elő a 3D modelleket, amelyeket .stl formátumban mentettük el. Minden, általunk rekonstruált képletet különálló rétegként (label), eltérő színekkel jelölve jelenítettük meg.

Kézi azonosítást alkalmaztunk a hasonló jelintenzitással rendelkező képletek határán:

- kereszteződő szalagok egymáshoz közeli felszínei
- medialis meniscus és a medialis collateralis szalag
- a femorotibialis ízület medialis és lateralis recessusa, ill. femoropatellaris ízület valamint a recessus subextensorius között.

Félautomata rekonstrukciót használtunk az ízületi üregek modellezése során. A csontokat automata kijelöléssel készítettük el.

A nyers 3D rekonstrukciókat Meshmixer (Autodesk, Inc.) szoftver segítségével javítottuk. Ennek során az egységes csontos modellt különálló részekre bontottuk (femur, patella, tibia, fibula), majd felületi simítást végeztünk. A lágyrészeken (szalagok, meniscusok) található hiányokat pótoltuk, a felületi egyenetlenségeket az anatómiai megjelenésnek megfelelően simítottuk. A kész modellt a Varinex Zrt.-nél, Stratasys Objet260 Connex3 nyomtatóval, Polyjet technológiával nyomtattuk ki.

### EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

Az alkalmazott beállításokkal a CT-felvételeken a csontos képletek jól azonosíthatóak voltak (2. ábra). A combcsont condylusai, a fossa extensoria, a trochlea ossis femoris, a térdkalács részei, a tibia platója és a fibula feje minden irányú (transversalis, sagittalis és horizontális) képsorozaton jól ábrázolódtak. Az ablakolás beállításainak változtatásával a lágyrészeket tartalmazó képletek közül is azonosíthatóak voltak a m. extensor digitorum longus és a peroneus tertius (tendo femorotarseus), a m. flexor digitorum superficialis izmok eredési inai, a corpus adiposum infrapatellare, a meniscusok és a collateralis szalagok. Az ízületi üregeket csak MR-kontrasztanyagot tartalmazó folyadékkal töltöttük fel, amely a CT-vizsgálat során nem ad árnyékot, így a finomabb lágyrészeket, mint a kereszteződő szalagok és a menisco-femorális szalag, a medialis és lateralis femorotibialis ízületet elválasztó synovialis membrán a CT-felvételeken nem voltak megfelelően vizsgálhatók (1).

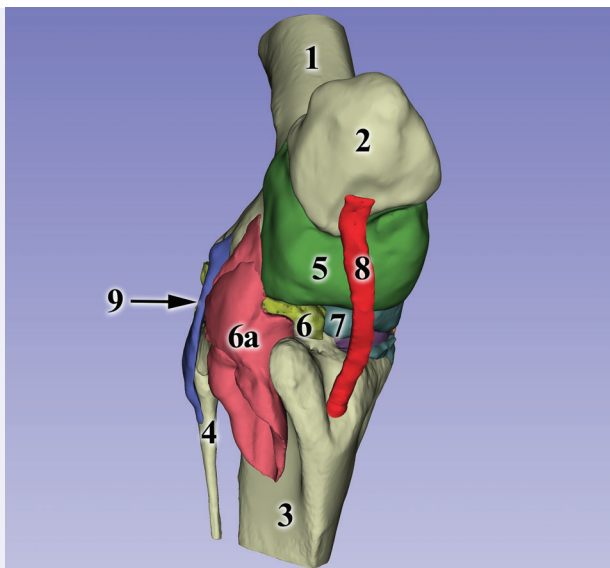
Az alkalmazott beállításokkal a CT-felvételeken a csontos képletek jól azonosíthatóak voltak

A finomabb lágyrészeket tartalmazó képletek a CT-felvételeken nem voltak megfelelően vizsgálhatók

**2. ÁBRA.** A térdízület modelljének craniolateralis nézete:

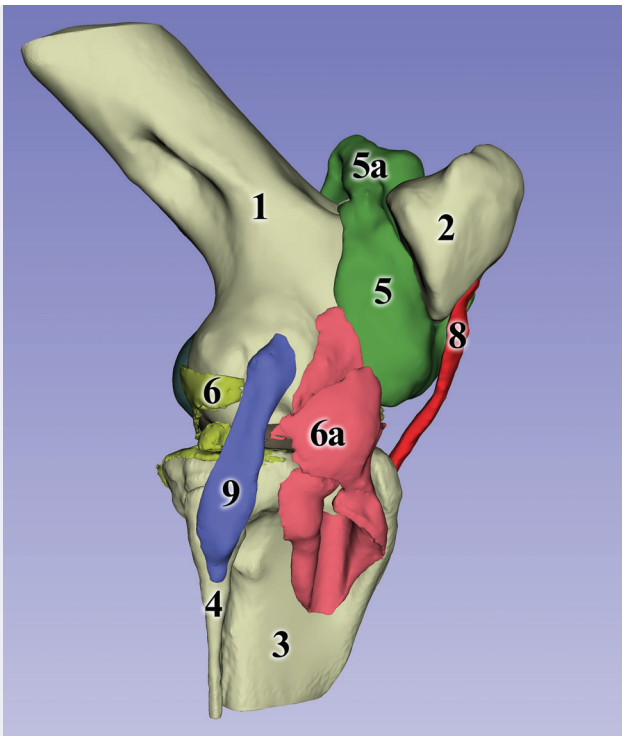
1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. articulatio femoropatellaris, 6. articulatio femorotibialis lateralis, 6a. recessus subextensorius (articulatio femorotibialis lateralis), 7. articulatio femorotibialis medialis, 8. lig. patellae intermedium

**FIGURE 2.** Craniolateral view of the stifle joint model: 1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. femoropatellar joint, 6. lateral femorotibial joint, 6a. subextensor recess (lateral femorotibial joint), 7. medial femorotibial joint, 8. intermediate patellar ligament (straight ligament of the patella)



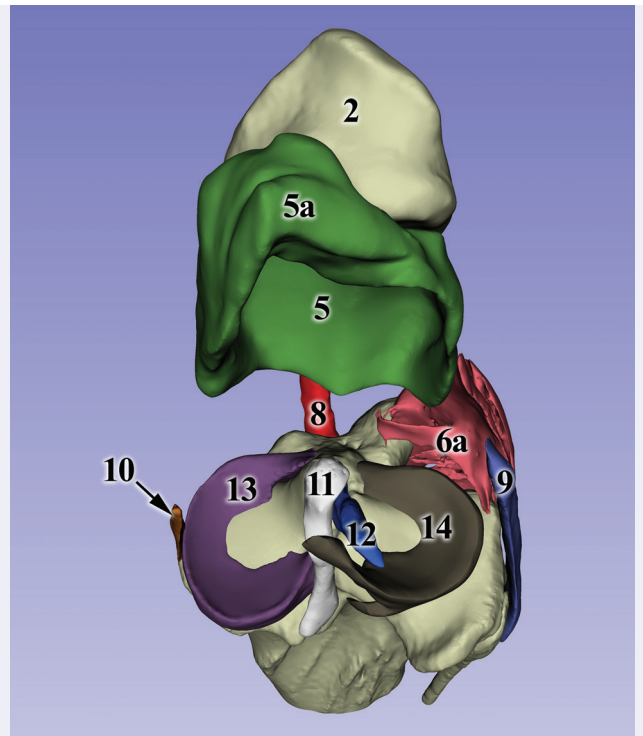
*Az MR-felvételeken a csontok, az ízületi folyadék, az ízületi porcok, az ízületi zsákok, a synovialis membránok, szalagok és a meniscusok jól elkülöníthetők voltak*

Az előkészítés során a preparátum átmozgatásával biztosítottuk, hogy a higított MR-kontrasztanyag minden területre egyenletesen eljusson az ízületben (1). Az MR-felvételeken a csontok, az ízületi üregeket kitöltő folyadék, az ízületi felszíneket borító hyalin porcok, a különböző ízületi zsákok, az azokat elválasztó synovialis membránok, szalagok és a meniscusok jól elkülöníthetők és vizsgálhatók voltak (2., 5., 6. ábrák). Az alkalmazott ablakolási paraméterekkel a manuális és félautomata jelölés nagy biztonsággal elvégezhető volt. A térdkalács szalagjai közül a lig. patellae intermedium teljes hosszában, míg a lig. patellae mediale et laterale csak a distalis szakaszon volt biztonsággal elkülöníthető. A femoropatellaris szalagokat nem sikerült rekonstruálnunk az MR-felvételekből, a CT-sorozatokon sem tudtuk azonosítani őket, így az elkészült modellen ezek a részek hiányoznak (2., 3., 4., 6. ábrák).



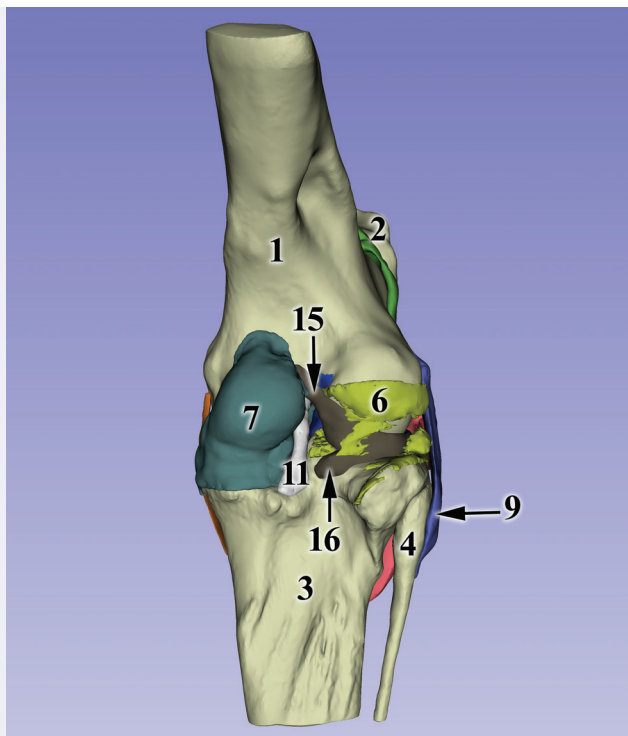
**3. ÁBRA.** A térdízület modelljének lateralis nézete: 1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. articulatio femoropatellaris, 5a. recessus suprapatellaris, 6. articulatio femorotibialis lateralis, 6a. recessus subextensorius (articulatio femorotibialis lateralis), 8. lig. patellae intermedium, 9. lig. collaterale laterale

**FIGURE 3.** Lateral view of the stifle joint model: 1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. femoropatellar joint, 5a. suprapatellar recess, 6. lateral femorotibial joint, 6a. subextensor recess (lateral femorotibial joint), 8. intermediate patellar ligament (straight ligament of the patella), 9. lateral collateral ligament



**4. ÁBRA.** A térdízület modelljének caudorsalis nézete: 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. articulatio femoropatellaris, 5a. recessus suprapatellaris, 6a. recessus subextensorius (articulatio femorotibialis lateralis), 8. lig. patellae intermedium (straight ligament of the patella), 9. lig. collaterale laterale, 10. lig. collaterale mediale, 11. lig. cruciatum caudale, 12. lig. cruciatum craniale, 13. meniscus medialis, 14. meniscus lateralis

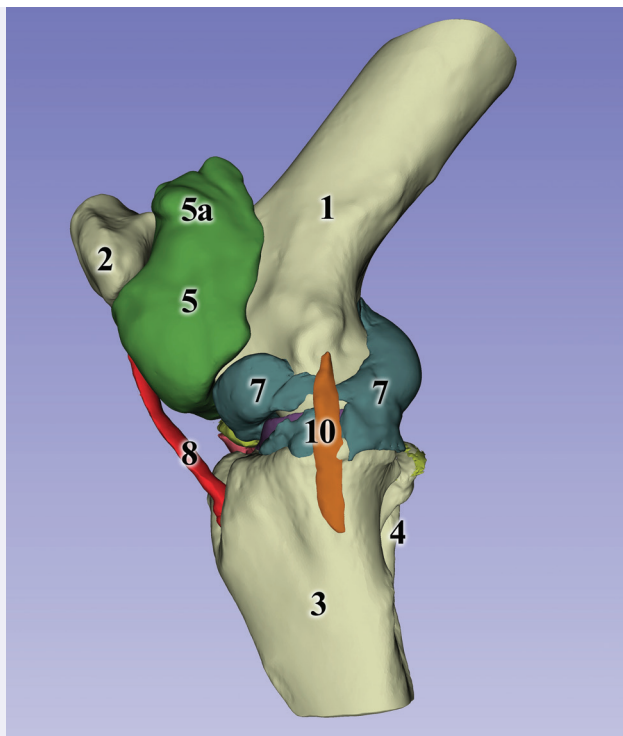
**FIGURE 4.** Caudorsal view of the stifle joint model: 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. femoropatellar joint, 5a. suprapatellar recess, 6a. subextensor recess (lateral femorotibial joint), 8. intermediate patellar ligament (straight ligament of the patella), 9. lateral collateral ligament 10. medial collateral ligament, 11. caudal cruciate ligament, 12. cranial cruciate ligament, 13. medial meniscus, 14. lateral meniscus



**5. ÁBRA.** A térdízület modelljének caudalis nézete:

1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 6. articulatio femorotibialis lateralis, 7. articulatio femorotibialis medialis, 9. lig. collaterale laterale, 11. lig. cruciatum caudale, 15. lig. meniscofemorale, 16. lig. tibiale caudale menisci laterale

**FIGURE 5.** Caudal view of the stifle joint model: 1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 6. lateral femorotibial joint, 7. medial femorotibial joint, 9. lateral collateral ligament, 11. caudal cruciate ligament, 15. meniscofemoral ligament, 16. caudal meniscotibial ligament of the lateral meniscus



**6. ÁBRA.** A térdízület modelljének medialis nézete:

1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. articulatio femoropatellaris, 5a. recessus suprapatellaris, 7. articulatio femorotibialis medialis, 8. lig. patellae intermedium, 10. lig. collaterale mediale

**FIGURE 6.** Medial view of the stifle joint model:

1. femur, 2. patella, 3. tibia, 4. fibula, 5. femoropatellar joint, 5a. suprapatellar recess, 7. medial femorotibial joint, 8. intermediate patellar ligament (straight ligament of the patella), 10. medial collateral ligament

Különböző közleményekben megtalálhatók ezek a képletek, azonban ott csak kiválasztott felvételeket mutatnak be, ezért nem lehetünk biztosak abban, hogy a fenti részletek teljes terjedelmükben azonosíthatóak (1, 12). A szerzők saját preparálási tapasztalatai alapján is a femoropatellaris szalagok fixálatlan végtaggon a nehezen boncolható képletek közé tartoznak (7), mivel környezetüktől csak feszített helyzetben és nem éles határral különülnek el.

A másik lehetséges ok, hogy a végtag vizsgálata során a patellahurok nem volt ugyanabban a helyzetben, mint egy terhelt végtag esetén (szalagok feszülése), így a térdkalács medialis és lateralis szalagja nem különült el teljes terjedelmében az ízület tok fibrosus rétegétől. Erre a problémára megoldás lehet patellahurok *post mortem* feszítése, ez azonban egy MR-kompatibilis tartószerkezetet igényelne, amivel a m. rectus femoris feszítése és a térdízület egyidejű terhelése megoldható lenne. Így a patella szalagrendszere megfeszíthető, ami az azt felépítő képletek könnyebb azonosításával járhat. Megoldás lehet a zsírelnyomásos technika használata is, amivel a corpus adiposum infrapatellare jobban elkülöníthető a körülötte található szalagoktól (13).

A modell készítése során a CT-felvételeket és a kontrasztanyagot, T1-súlyozott képsorozatot használtuk. A CT- és MR-sorozatok illesztése során tapasztal-



ható volt némi pontatlanság. Ennek több oka lehetséges. Egyrészt a *To fiducials* és a *From fiducials* pontok kijelölése során elkövetett pontatlanságok. Minél több fiducial pontot (meghatározó, kiindulási, jelölési pont) határozunk meg a két különböző sorozaton (CT és MR), a transzformáció annál pontosabb lesz, ugyanakkor ez nem minden esetben lehetséges, a CT és MR eltérő jellege miatt. A másik lehetséges ok, a preparátum nagy mérete miatti kismértékű torzulás az MR-sorozatokon. A mágneses tér az MR-készülék belsejében nem teljesen homogén, ezért nagyobb térfogatok esetében a széli részek felé haladva előfordulhatnak kismértékű térfogati eltérések (3).

A 3D megjelenítésre épülő oktató szoftverek nagy része ún. művészi modelleket használ (Easy-anatomy, Ivala, Biosphera, Hoofexplorer), ennek következtében egy idealizált állapotot mutatnak be és pontatlanságokat tartalmazhatnak. Ezt szerettük volna elkerülni, így az elkészült modellen csak a biztosan azonosítható képleteket mutatjuk be, mivel célunk nem egy gyógyításra használatos (műtét-, és/vagy sugártervezés, sztereotaxiás rendszer) modell elkészítése (5, 6), hanem az anatómiai képletek bemutatása volt, hasonlóképpen az előző cikkben bemutatott levegőtartalmú üregek rekonstrukciójakor (8).

**A 3D megjelenítésre épülő oktató szoftverek egy idealizált állapotot mutatnak be és pontatlanságokat tartalmazhatnak**

## IRODALOM

- BERGMAN, E. H. J. – PUCHALSKI, S. M. et al.: Computed Tomography and Computed Tomography Arthrography of the Equine Stifle: Technique and Preliminary Results in 16 Clinical Cases. *AAEP Proceedings*, 2007. 53.
- FEDOROV, A. – BEICHEL, R. et al.: 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn. Reson. Imaging.*, 2012. 30. 1323–1341.
- GANZETTI, M. – WENDEROTH, N. – MANTINI, D.: Intensity inhomogeneity correction of structural MR images: a data-driven approach to define input algorithm parameters. *Front. Neuroinform.*, 2016. 10. 1–14.
- HOLCOMBE, S. J. – BERTONE, A. L. et al.: Magnetic resonance imaging of the equine stifle. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 1995. 36. 119–125.
- NEMEC, S. F. – PELOSCHKE, P. et al.: CT-MR data fusion for computer-assisted navigated surgery of orbital tumors. *Eur. J. Radiol.*, 2010. 73. 224–229.
- NEMEC, S. F. – DONAT, M., A. et al.: CT-MR data fusion for computer assisted neurosurgery of temporal bone tumors. *Eur. J. Radiol.*, 2007. 62. 192–198.
- NICKEL, R. – SCHUMMER, A. – SEIFERLE, E.: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere*. Parey, Verlag, 2. 1999.
- PETNEHÁZY Ö. – CZEIBERT K. – NAGY SZ. A. – DONKÓ T. – CSÓKA Á. – LASSÓ A. – NEMES CS. – BIKSI I. – GARAMVÖLGYI R. – BAJZIK G. – FALK Gy. – REPA I.: Keresztmetszeti képalkotó eljárások (CT és MR) használata az anatómiai 3D rekonstrukciókban I. rész: A levegőtartalmú képletek CT-alapú 3D modellezése. *Magy. Állatorvosok Lapja*, 2018. 140. 157–168.
- SANTOS, M. P. – GUTIERREZ-NIBEYRO, S. D. et al.: Gross and histopathologic correlation of low-field magnetic resonance imaging findings in the stifle of asymptomatic horses. *Vet. Radiol. Ultrasound*, 2015. 56. 407–416.
- STRAATEN VAN DER, G. O.: Magnetic resonance imaging of the equine stifle: normal anatomy. Master Thesis, Faculty of Veterinary Medicine Theses. Utrecht University. 2009.
- SURE, U. – BENES, L. et al.: Image fusion for skull base Neuronavigation. *Neurol. Med. Chir (Tokyo)*, 2002. 42. 458–462.
- VEKENS VAN DER, E. – BERGMAN, E. H. J. et al.: Computed tomographic anatomy of the equine stifle joint. *AJVR*, 2011. 72. 512–521.
- WESTBROOK, C. – ROTH, C. K. – TALBOT, J.: *MRI in practice*. Wiley-Blackwell, 4th Ed. 2015.

Közlésre érk.: 2017. szept. 8.