

Állatorvostudományi Egyetem
Állatorvostudományi Doktori Iskola

**A cTTA műtéttel kapcsolatos klinikai és biomechanikai
vizsgálatok kutyákban**

PhD értekezés

dr. Zólyomi Dorottya

2022

Témavezetők:

.....
Dr. habil. Szalay Ferenc PhD
Egyetemi docens
Állatorvostudományi Egyetem,
Anatómiai és Szövettani Tanszék
témavezető

.....
Prof. Dr. Németh Tibor PhD, dipECVS
Tanszékvezető egyetemi tanár
Állatorvostudományi Egyetem,
Sebészeti és Szemészeti Tanszék és Klinika
témavezető

Készült 8 példányban. Ez a(z) ...sz. példány.

.....
dr. Zólyomi Dorottya

Tartalomjegyzék

Rövidítések jegyzéke	5
Összefoglalás	7
Bevezetés.....	10
Irodalmi áttekintés	11
A térdízület anatómiája	11
A térdízület szalagjai.....	12
A térdízület izmai.....	13
Az elülső és hátulsó kereszteződő szalag funkcionális anatómiája.....	14
A tibia proximalis részének anatómiája	15
A térdízület biomechanikája.....	16
Az egészséges térdízület.....	16
A térdízület biomechanikája EKSZ szakadás után	17
Az EKSZ szakadás kóroktana.....	18
Az EKSZ szakadás diagnosztikája	19
Az EKSZ szakadás terápiája	22
TPLO (Tibial Plateau Leveling Osteotomy)	23
TTA (Tibial Tuberosity Advancement)	26
MMT (Modified Maquet Technique).....	30
TTA-rapid	31
cTTA (circular Tibial Tuberosity Advancement).....	32
Klinikai kutatások.....	35
Anyag és módszer.....	35
Adatok	35
Radiológiai vizsgálatok	35
Aneszteziológiai protokoll	36
TTA-rapid csoport.....	36
Modified-cTTA (mcTTA) csoport.....	37
Komplikációk	40
Postoperatív kezelés.....	40
Statisztikai analízis.....	40
Eredmények.....	40
TTA-rapid csoport.....	40
mcTTA csoport.....	42
TTA-rapid és mcTTA összehasonlítása.....	43

Megbeszélés.....	44
Biomechanikai előtanulmány.....	48
Anyag és módszer.....	49
Kísérleti elrendezés	49
A minták előkészítése.....	50
Mechanikai tesztelés	51
Eredmények.....	51
Megbeszélés.....	53
Biomechanikai kísérlet	56
Anyag és módszer.....	56
Kísérleti elrendezés	56
A minták előkészítése.....	57
Mechanikai tesztelés	59
Statisztikai elemzés	60
Eredmények.....	60
Megbeszélés.....	62
Új tudományos eredmények	65
Irodalom	66
A doktori kutatás eredményeinek közlései	73
Köszönetnyilvánítás.....	74

Rövidítések jegyzéke

CLB	caudolateral band, caudolateralis köteg
CMB	craniomedial band, cranimedialis köteg
CTM	common tangent method
cTTA	circular tibial tuberosity advancement
CWTO	cranial tibial wedge osteotomy
EKSZ	elülső kereszteződő szalag
FPA	frontal plane of angulation
HKSZ	hátsó kereszteződő szalag
im	intramuscularis
IO	intraoperatív
iv	intravénás
K-drót	Kirschner-drót
LFS	lateral fabellar suture
Lig.	ligamentum
m.	musculus
mcTTA	modified circular tibial tuberosity advancement
MMT	modified Maquet Technique
MRI	magnetic resonance imaging
n.	nervus
OA	osteoarthritis
PO	postoperatív
PTA	patellar tendon angle
RTG	röntgen
SOP	String Of Pearls
TPLO	tibia plateau leveling osteotomy
TPSM	tibia plateau slope method
TT	tibial tuberosity, tuberositas tibiae
TTA	tibial tuberosity advancement
TTA-CF	Tibial Tuberosity Advancement Technique with Cranial Implant Fixation

ttkg testtömeg kilogramm

WVOC World Veterinary Orthopedic Congress

Összefoglalás

Az elülső kereszteződő szalag szakadás kezelése napjainkban a kisállat ortopédia központi kérdését képezi. Nincs tökéletes módszer, mindig újabb és újabb műtéti technikákat fejlesztenek ki. Kutatásunkban egy viszonylag új műtéti technikáról, a circular tibial tuberosity advancement (cTTA) módszerről szerettünk volna több információt gyűjteni, illetve komplikációk tekintetében megvizsgálni, és összehasonlítani egy másik műtéti technikával, a tibial tuberosity advancement rapid (TTA-rapid) módszerrel.

Kutatásunk három részből épült fel, egy első klinikai vizsgálatból, majd egy biomechanikai vizsgálat előtanulmányából, illetve a biomechanikai kísérletből.

A klinikai tanulmányunk célja az általunk végzett első 30 TTA-rapid, illetve első 30 cTTA műtét rövid távú eredményeinek összehasonlítása volt egymással, illetve a szakirodalomban fellelhető adatokkal. Mindkét vizsgált csoportban 30 klinikai betegünk térdízületét operáltuk meg. Az utókövetés legalább 3 hónapon keresztül zajlott. A műtétek kapcsán vizsgáltuk az intraoperatív (IO), a postoperatív (PO) major, illetve minor komplikációkat. A cTTA csoport kapcsán az eredeti technikától eltérő implantátumot alkalmaztunk, ezért az általunk használt technikát modified cTTA (mcTTA) technikának neveztük el. A TTA-rapid technikával operált csoportban a következő eredményeket kaptuk:

- IO komplikációk: 23,3 % (7/30)
- PO major komplikációk: 13,4 % (4/30)
- PO minor komplikációk: 16,7 % (5/30)

Az mcTTA csoport eredményei pedig a következőképpen alakultak:

- IO komplikációk: 0 % (0/30)
- PO major komplikációk: 3,3 % (1/30)
- PO minor komplikációk: 20 % (6/30)

A klinikai eredményeinket összehasonlítottuk a két csoportban és azt találtuk, hogy IO komplikációk tekintetében szignifikáns a különbség ($p = 0,0105$), míg a PO major komplikációkat tekintve ($p = 0,3533$), illetve a PO minor komplikációkat tekintve ($p > 0,9999$) nincs szignifikáns különbség a két módszer között. Eredményink hasonlóképpen alakultak a technikák komplikációit tekintve, mint a szakirodalmi adatok. A klinikai tanulmányunkat tekintve elmondható, hogy IO komplikációk tekintetében az mcTTA műtét jobban teljesít, azonban mindkét módszer alacsony komplikációs rátákkal rendelkezik, így biztonsággal használható a klinikai életben.

Klinikai vizsgálataink során feltűnt, hogy egy PO major komplikáció, a tibia haránttörése a TTA-rapid csoportban 2 alkalommal is jelentkezett, míg az mcTTA csoportban PO minor komplikációként összesen egy, a kontrollvizsgálat idején már gyógyult tibia törést találtunk. Biomechanikai tanulmányunkban arra kerestük a választ, hogy a haránt tibia törések

valószínűsége a PO időszakban megegyezik-e a két műtéti technika tekintetében. Hipotézisünk szerint a TTA-rapid műtétet követően nagyobb valószínűséggel következik be haránt tibia törés, mint az mcTTA csoport esetében. A biomechanikai kísérlet első lépéseként előtanulmányt végeztünk.

Az előtanulmány célja a kísérlethez használt beállítások megismerése, alapadatok gyűjtése volt. Cadaver tanulmány keretében három csoportot alakítottunk ki: natív tibiák (1-es csoport), olyan tibiák amelyekről a tuberositas tibiae, illetve a crista tibiae osteotomizáltuk (2-es csoport), TTA-rapid technikával módosított tibiák (3-as csoport). Az előtanulmányhoz 6 pár tibiát használtunk ($n=12$), amely 15 és 35 kg közötti testsúlyú kutyákból származott. Minden csoportba 4 tibia került. A tibiákat statikus axiális kompresszióknak vetettük alá, a vizsgálatot a tibiák teljes töréséig végeztük. A tibiák eltöréséhez szükséges erőhatást F_{max} értéknek neveztük. Az átlagos F_{max} érték a következőképpen alakult a 3 csoportban:

- 1-es csoport: $8193,25 \pm 2082,84$ N
- 2-es csoport: $6868,58 \pm 1950,44$ N
- 3-as csoport: $7169,71 \pm 4450,39$ N

A mintaszám statisztikai elemzésekhez kevés volt, de az előtanulmány alapján megtudtuk határozni a kísérlethez szükséges alapbeállításokat, illetve tökéletesíteni tudtuk a befogatási módszert. Továbbá az eredmények előrejelítették, hogy a módosított tibiák (2-es és 3-as csoport) szerkezete valószínűleg gyengült.

A biomechanikai kísérletünk célja a TTA-rapid és mcTTA műtét hatásának vizsgálata volt a tibia szerkezetét tekintve. A kísérlet során a tibia szerkezetének stabilitását statikus axiális kompressziós erőhatás alkalmazásával vizsgáltuk. A kísérlet cadaver tanulmány, amelyben három csoport került kialakításra egyenként 10 db tibiával. Az 1-es csoport a natív tibiák csoportja, a 2-es csoport a TTA-rapid technikával módosított tibiák csoportja, míg a 3-as csoport az mcTTA technikával módosított tibiák csoportja volt. A tibiák eltöréséhez szükséges erőhatást F_{max} értéknek neveztük. Az F_{max} értékek átlaga és szórása az egyes csoportokban a következőképpen alakult:

- 1-es csoport: $11573,92 \pm 1962,68$ N
- 2-es csoport: $12480,97 \pm 4169,96$ N
- 3-as csoport: $11842,61 \pm 3861,27$ N

A kapott F_{max} értékek átlagát összehasonlítottuk az egyes csoportokban, de nem kaptunk szignifikáns különbséget (natív/TTA-rapid: $p = 0,5632$; natív/mcTTA: $p = 0,8474$; TTA-rapid/mcTTA: $p = 0,7344$). Azonban az adatokat boxplot diagramon ábrázolva feltűnő, hogy a 2-es és 3-as, módosított tibiák csoportjaiban az értékek szóródása jelentősen nagyobb, mint a natív tibiák csoportjában, így ezeket is összehasonlítottuk. A szóródások mértékét összehasonlítva az 1-es és 2-es csoport között szignifikáns különbséget találtunk ($p = 0,0372$), míg az 1-es és 3-as csoport között ($p = 0,0564$), illetve a 2-es és 3-as csoport

között ($p = 0,8171$) a különbség nem szignifikáns, azonban az 1-es és 3-as csoport között is jelentősnek mondható a különbség. Tehát elmondható, hogy a TTA-rapid és az mcTTA műtéttel módosított csontok bizonyos esetekben jóval kisebb, bizonyos esetekben pedig jóval nagyobb erőhatásra törtek el, mint a natív tibiák, illetve, hogy a TTA-rapid műtét szignifikánsan befolyásolta a tibia szerkezetét statikus axiális kompressziós hatásnak való ellenállás tekintetében.

Klinikai és biomechanikai kutatásaink értelmében elmondható, hogy mindkét módszer biztonságosan alkalmazható a klinikumban az összességében vett alacsony komplikációs ráták tekintetében, azonban a mcTTA műtét esetében az IO komplikációk száma szignifikánsan alacsonyabb. Tibia töréses komplikációk tekintetében a nagy átlagot véve a műtéti technikák között nincs szignifikáns különbség, azonban a mcTTA műtéti technika egyes eseteket véve jelentősen, míg a TTA-rapid műtét szignifikánsan befolyásolja a tibia statikus axiális kompresszióval szembeni ellenálló képességét. Itt a műtét típusán kívül egyéb tényezők is közrejátszanak, amelyeket érdemes lehet feltérképezni a jövőben.

Bevezetés

Az elülső kereszteződő szalag szakadása kutyákban a leggyakoribb hátulsó végtag sántasághoz vezető ok. Gyógykezelésére az évek során egyre több műtéti technikát fejlesztettek, ki vettek át a humán ortopéd sebészetből. A betegség gyakorisága révén a kisállat ortopédia egyik központi kérdésévé vált, hogy melyik technika a legjobb, elsődlegesen választandó megoldás.

A betegség kóroktana a mai napig nem teljesen tisztázott, azonban az embertől eltérően kutyákban elsősorban degeneratív elváltozásról beszélünk, az emberben gyakori traumás elülső kereszteződő szalag szakadás igen ritka. A szalag szakadásának következtében a térdben instabilitás alakul ki, megindul az osteoarthritis kialakulása. A különböző műtéti technikákkal ezt a folyamatot megállítani nem tudjuk, azonban a térdízület stabilizálásával a folyamat lassítható, ezért minden esetben műtéti ellátás javasolt.

Kutyákban az embertől eltérően a különböző szalagpótló műtéti technikák nem hozták a kívánt eredményeket, ezért más típusú műtétek kerültek előtérbe, amelyek térdízület stabilitását mozgás közben a biomechanika módosításával érik el. Ilyen műtéti technikák a Slocum által 1993-ban leírt tibial plateau leveling osteotomy (TPLO), illetve a 2002-ben Montavon, Damur és Tepic által leírt tibial tuberosity advancement (TTA). A TTA műtétnél 2002 óta számos változatát írták le, illetve alkalmazták. Ilyenek az értekezés alapjául szolgáló 2010-ben Petazzoni által leírt circular tibial tuberosity advancement (cTTA), illetve a 2015-ben Samoy és társai által leírt TTA-rapid műtétek.

Utóbbi két műtéti típust elkezdjük alkalmazni az ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinikáján. Kutatásunk főként a cTTA műtetre és a komplikációk megismerésére irányult, ugyanis erről a műtéti technikáról igen kevés adat áll rendelkezésre a szakirodalomban. Célul tűztük ki a cTTA műtéti technika és a TTA-rapid technika összehasonlítását komplikációk szempontjából. Klinikai szempontból lényeges, hogy melyik műtéttípus alkalmazható kisebb komplikációs rátával, van-e különbség a két technika között.

Irodalmi áttekintés

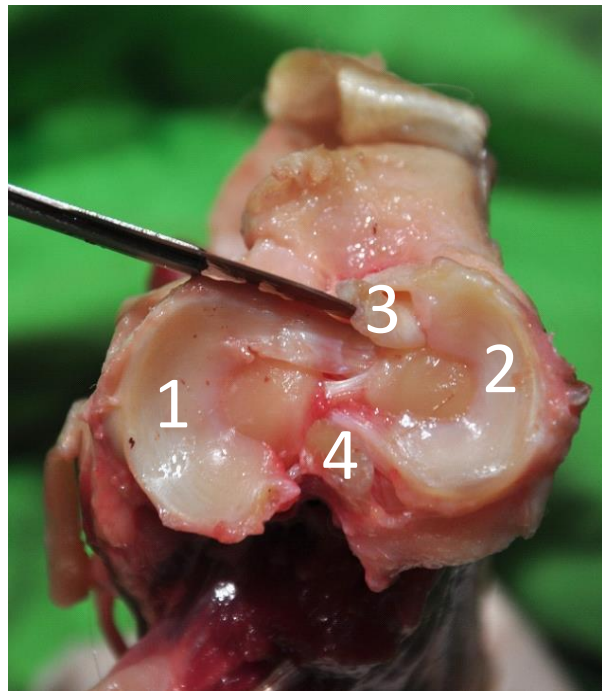
A térdízület anatómiája

A térdízület (articulatio genus) a combcsont (femur) és a sípcsont (tibia) közötti összeköttetést biztosítja. A térdízület egy komplex, synovialis ízület, amely két részből áll: egy bütökízületből (articulatio condylaris) a tibia és a femur condylusai között (articulatio femorotibialis) és egy szánízületből (articulatio delabens), a patella és a femur trochleája között (articulatio femoropatellaris). A tibia és a femur közötti inkongruenciát két félhold alakú, rostos porc egyenlíti ki, ezek a meniscusok (meniscus medialis et lateralis) (**1. ábra**). A térdízület közlekedik a proximális sípcsont-szárkapocscsonti ízülettel (articulatio tibiofibularis) (Fehér, 2005; Hermanson et al., 2020).

Az ízületi tok három zsákot formál a térdízületben, amelyek szabadon közlekednek egymással. Ezek közül kettő a femur és a tibia condylusai között helyezkedik el (saccus medialis et lateralis), a harmadik pedig a patella alatt található. A femorotibialis ízületi zsákokat proximális (meniscofemoralis) és distális (meniscotibialis) részre osztja a két meniscus, amelyek a tibia eminentia intercondylaris mentén mindig közlekednek egymással. A patellától distálisan, az ízületi tok cranialis részének rostos rétege nagy mennyiségű

zsírszövetet tartalmaz, ez az infrapatellaris zsírszövet (corpus adiposum infrapatellare). Az ízületi tok tág, kiöblösödéseket hoz létre (recessus), amelyek a következők:

- recessus suprapatellaris: a femoropatellaris ízületi tok proximalisan a térdkalács fölé, és a két oldalára, a négyfejű combizom (m. quadriceps femoris) alá is beterjed, distálisan, a már említett infrapatellaris zsírszövet (corpus adiposum infrapatellare, Hoffa-féle zsírszövet) választja el a femorotibialis ízület tokjától, kis helyen azonban közlekednek egymással



1. ábra: A tibia plató a hozzá kapcsolódó képletekkel, dorsalis nézetből

1: meniscus lateralis, 2: meniscus medialis, 3: lig. cruciatum craniale tapadása, 4: lig. cruciatum caudale tapadása (dr. Szalay Ferenc fényképe)

- recessus extensorius: a lateralis zsák recessust képez a tibia sulcus extensoriusába, amely körülveszi a m. extensor digitorum longus eredési inát
- recessus subpopliteus: körülveszi a m. popliteus eredési inát, a Vesalius-féle íncsontokig terjed (m. gastrocnemius íncsontjai) (Fehér, 2005; Szalay et al., 2015; Hermanson et al., 2020)

A meniscusok félhold alakú, rostos porcból álló képletek, amelyek belső szélükön vékonyak, élesek, homorúak, kifelé haladva vastagodnak, kívül vastagok és domborúak. A meniscusok az ízületi tok rostos rétegéből képződtek és synovialis hártáival fedettek. A medialis meniscuson az ízületi tok megtapad, azonban a lateralis meniscus nem áll összeköttetésben vele (Fehér, 2005; Hermanson et al., 2020).

A térdízület szalagjai

A térdízület szalagjait három csoportba sorolhatjuk: a femorotibialis ízület szalagjai, meniscusok szalagjai és a patella szalagjai.

1. A femorotibialis ízület szalagjai (ezek a szalagok biztosítják elsősorban a térdízület stabilitását):
 - A térdízület oldalsó szalagjai (lig. collaterale mediale et laterale): a femur és a tibia epicondylusait kötik össze, a medialis szalag megtapad a medialis meniscuson is, míg a lateralis nem, ez a m. popliteus ina felett halad át. A lateralis szalag a fibula fején is megtapad. Fontos szerepük van a térdízület oldalirányú elmozdulásának meggátlásában.
 - A kereszteződő szalagok (ligg. cruciata genus): az elülső kereszteződő szalag (lig. cruciatum craniale) és a hátsó kereszteződő szalag (lig. cruciatum caudale). A kereszteződő szalagok anatómiája és funkciója kiemelkedő fontosságú az értekezés szempontjából, ezért később kerülnek tárgyalásra (Fehér, 2005).
2. A meniscusok szalagjai (rögzítik a meniscusokat a tibiához, illetve a femurhoz) (Szalay et al., 2015):
 - lig. craniale menisci mediale: a medialis meniscus elülső szögletét a tibia area intercondylaris cranialis laterálisához köti
 - lig. craniale menisci laterale: a lateralis meniscus elülső szögletét a tibia area intercondylaris centralisához köti
 - lig. caudale menisci mediale: a medialis meniscus hátsó szögletét a tibia area intercondylaris caudalisához köti
 - lig. caudale menisci laterale: a lateralis meniscus hátsó szögletét a tibia incisura popliteájához köti

- lig. meniscofemorale: a lateralis meniscus caudalis szélét a femur fossa intercondylarisához rögzíti
 - lig. transversum genus: a meniscusok elülső szélét összekötő harántszalag
3. A patella szalagjai (Fehér, 2005; Hermanson et al., 2020):
- retinaculum patellae mediale et laterale: a térdpólya mély rétege szorosan összenőve az ízületi tok fibrosus rétegével vastag kötőszövetes lemezt alkot, amely a patellát a femur két oldalához és a crista tibiaehez rögzíti.
 - lig. femoropatellare mediale et laterale: A Vesalius-féle csontokról térnek a patellára, kétoldalt az ízületi tok fibrosus rétegével összenőnek
 - lig. patellae: tágabb értelemben véve a m. rectus femoris végina, ebbe ágyazva található a patella mint íncsont, a patelláról a tuberositas tibiae tér, alatta nyálkatömlő található (bursa infrapatellaris proximalis et distalis)

A térdízület izmai

A térdízületre a csípőízület izmai és a térdízület saját izmai is hatnak. A térdízület saját nyújtóizma a négyfejű combizom (m. quadriceps femoris), amelyet az egyenes combizom (m. rectus femoris), a külső és belső tömérdekizom (m. vastus lateralis et medialis) és a középső tömérdekizom (m. vastus intermedius) alkot. A m. rectus femoris a csípőoszlopon, az acetabulum közelében ered és a patellán, mint íncsontján át a lig. rectum patellaeben folytatódva a tuberositas tibiaehez tér. A m. vastus lateralis a trochanter major alatt, dorsolateralisan ered és a patellán tapad. A m. vastus medialis a combcsont feje alól medialisán tér a patella medialis oldalára. A m. vastus intermedius a femur testének dorsalis felületéről ered, mélyen a m. rectus femoris alatt és a m. vastus lateralis et medialis között helyeződik. A m. quadriceps femorist a n. femoralis idegzi be.

A térdízület saját hajlítóizma a térdalji izom (m. popliteus). A femur fossa musculi poplitei nevű árkában ered és rostjai legyezőszerűen széttérve, spirálisan csavarodva, haránt irányban a tibia caudalis és caudomedialis szélén tapadnak meg. Főleg nagytestű kutyákban az eredési ínbán egyenítőcsontot is találhatunk. A recessus subpopliteus körülöleli a tapadási inát. A m. popliteust a n. tibialis idegzi be.

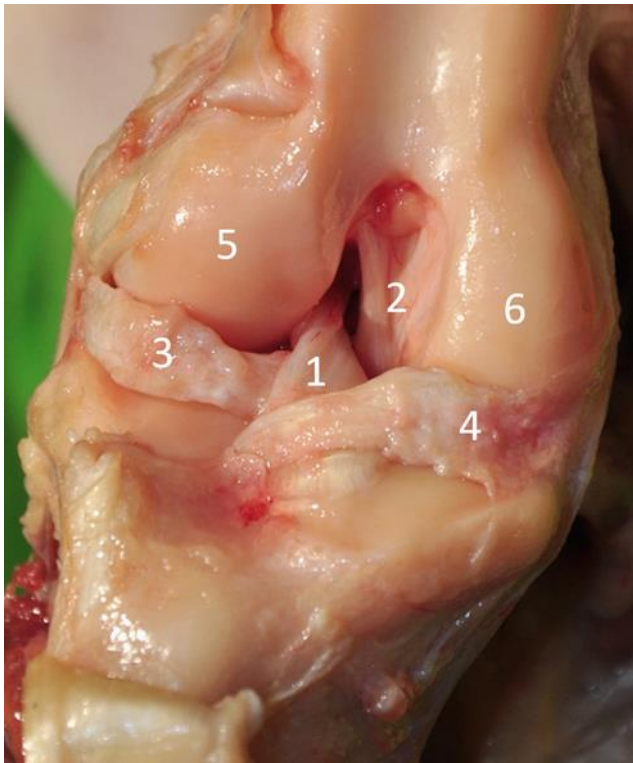
A térdízületnek nem saját izmai, de fontos szerepet töltenek be az ízület hajlításában, a humán anatómiában és az angol nyelvű irodalomban hamstring izmoknak nevezett csoport. Ezt az izomcsoportot a comb kétfejű izma (m. biceps femoris), a félig inas izom (m. semitendinosus) és a félig hártás izom (m. semimembranosus) alkotja. A m. biceps femoris a comb külső, hátulsó kontúráját alkotja. Két fejjel ered, amelyek nehezen különíthetők el egymástól. Felületesebb izmos feje a lig. sacrotuberalén, mély, inas feje pedig a tuber ischiadicum lateralis részéről ered. Több szárra oszlik, majd közös ínlemezzel a lig. rectum

patellén és a tibián tapad, a szárpólyába megy át. A m. semitendinosus a m. biceps femoris hátulsó szélé mentén halad. A tuber ischiadicumról ered, a karcsúizom (m. gracilis) ínlemezével együtt, a szárpólyában egyesülve a crista tibiae-n tapadnak meg. A m. semimembranosus tömeges izom, a m. gracilis nagy részét fedi az izomhasnak. A tuber ischiadicum ventralis részéről ered, a femur medialis condylusán és a térdízület medialis szalagjain tapad (Fehér, 2005; Hermanson et al., 2020).

Az elülső és hátsó kereszteződő szalag funkcionális anatómiája

A térdízületet elsősorban négy nagy szalag stabilizálja. A medialis és lateralis collateralis szalag, a hátsó kereszteződő szalag (HKSZ), illetve a klinikai szempontból kiemelt fontosságú elülső kereszteződő szalag (EKSZ). Mindegyik szalagnak speciális szerepe van a különböző, térdízületre ható erők semlegesítésében (Payne and Constantinescu, 1993).

Az EKSZ és a HKSZ intracapsularisan helyeződő képletek, amelyeket synoviális hártya borít. A femur fossa intercondylarisát csaknem teljesen kitöltik, ahogyan



elnevezésük is mutatja a két szalag mind oldalirányból, mind cranialis nézetből keresztezik egymást (**2.ábra**) (De Rooster et al., 2006; Szalay et al., 2015).

Az EKSZ a femur lateralis condylusának axialis oldaláról, annak is caudalis részéről ered és a tibia area intercondylaris cranialis medialisán tapad (**1.ábra**). Az EKSZ funkciója, hogy megakadályozza a tibia cranialis irányba történő elmozdulását (fiókmozgás) a femurhoz képest a mozgás teljes terjedelmében (flexio, extensio), hogy megelőzze a térdízületben a belső rotációt, illetve nem engedi a térd hyperextensioját (Arnoczky et al. 1977; Canapp, 2007).

Az EKSZ egy spirálisabb lefutású craniomedialis (CMB) és egy rövidebb, egyenesebb caudolateralis kötegre (CLB) osztható (Heffron et al., 1978, DeCamp, 2015). A kereszteződő szalagok emberben

2. ábra: A térdízület cranialis nézetből a térdkalács és a lig. patellae eltávolítása után

1: elülső kereszteződő szalag, 2: hátsó kereszteződő szalag, 3: lateralis meniscus, 4: medialis meniscus, 5: lateralis femur condylus, 6: medialis femur condylus (dr. Szalay Ferenc fényképe)

és kutyában nem egyszerű hosszanti lefutású kollagén rostokból állnak, hanem csavart kollagén rost kötegekből és rugalmas rostos kötegekből épülnek fel. Az EKSZ a középső régióban a legvékonyabb. Hosszúsága a testsúllyal pozitív korrelációban áll, átlagosan 13,5-18,7 mm (De Rooster et al., 2006).

A térd nyújtása közben az EKSZ hossz tengelye a femur hossz tengelyével egybe esik. A szalag craniomedialis és caudolateralis kötegének eredési pontja is közel merőleges az ízületi felszínre, mindkét köteg feszes. A térd hajlításakor a CMB tekeredik, csavarodik a CLB körül. A CMB eredési helye distalisan és caudalisan mozdul el. Ez az elmozdulás növeli a távolságot az eredési hely és a tibián található tapadási pont között, aminek következtében a CMB feszül. A CLB esetében lazulás következik be, mert az elmozdulás miatt az eredési és tapadási pont egymáshoz közeledik (Heffron et al., 1978).

A HKSZ a femur medialis condylusának axialis oldaláról tér a tibia area intercondylaris caudalisára és az incisura popliteába (Fehér, 2005). A HKSZ hosszabb és vastagabb, mint az EKSZ és szintén a femur és tibia egymáshoz képesti craniocaudalis elmozdulásának megakadályozásában vesz részt, illetve gátolja a rotációt és másodlagos szerepe van a térd túlnyúlásának megakadályozásában. Egy cranialis és egy kisebb caudalis kötegre osztható, azonban ezek gyakran nem különülnek el egymástól élesen (Payne and Constantinescu, 1993, Fehér, 2005).

A tibia proximalis részének anatómiája

A tibia proximalis részének anatómiája kiemelt fontosságú az EKSZ szakadás terápiaját tekintve.

A tibia hosszú, vastag csont, ami a lábszár medialis oldalán található. Proximalisan a femurral ízesül, distalisan a tarsussal és lateralisán mind a proximalis mind a distalis végén a fibulával. A tibia proximalis harmada háromszög alakú keresztmetszetét tekintve és erősebb, vastagabb, mint a csont distalis fele, amely közel kör keresztmetszetű (Hermanson et al., 2020).

A tibia proximalis végén két condylus található (condylus lateralis et medialis), amelyek a proximalis ízületi felszínt alkotják (facies articularis proximalis), amelyeken a meniscusok találhatóak. Az ízületi felszín közepén, a medialis és a lateralis condylus ízületi felszíne között csúcyszerű kiemelkedés található, az eminentia intercondylaris, amely egy belső és egy külső dudorra osztható (tuberculum intercondylare mediale et laterale). A két kiemelkedés közötti árok az area intercondylaris centralis. A kiemelkedések előtt két area intercondylaris cranialis medialis et lateralis található, míg mögötte az area intercondylaris caudalis (Fehér, 2005; Hermanson et al., 2020). A tibia proximalis ízületi felszínét a klinikumban tibia plateauának nevezik **(3.ábra)**.

A tibia cranialis részén található, nagy kiemelkedő dudor a tuberositas tibiae (angol szakirodalomban: tibial tuberosity, későbbiekben TT), amely tapadási helyéül szolgál a patella egyenes szalagjának, illetve a m. biceps femorisnak és a m. sartoriusnak. A tuberositas tibiae meghosszabbítása a cranialis élen a crista tibiae (angol szakirodalomban tibial crest) **(3.ábra)** (Fehér, 2005; Hermanson et al., 2020).

A lateralis condylus caudolateralis felszínén található a fibulával ízesülő felszín, a facies articularis fibularis.

A térdízület biomechanikája

Az egészséges térdízület

A térdízület biomechanikája összetett. Vizsgálata nem lehetséges csupán cadaver modelleken, mert az izommunka nagy szerepet játszik, így a modellezés igen nehézkes. Sok tanulmányt készítettek ebben a témában, de még ma is folynak ezirányban vizsgálatok.

A térdízület mozgása közben 160°-os teljes nyújtást és 40°-ig terjedő teljes hajlítást tesz lehetővé (Muir, 2018). Fluoroszkóppal végzett kinematikus vizsgálatok során kimutatták, hogy ügetés, séta, lépcsőzés és leülés közben a térd mozgástartománya 35°-os hajlított helyzet és 145°-os nyújtott pozíció között változik (Kim et al., 2015). A hajlítás-nyújtás során a femur tibián való gördülő és sikló mozgásának kombinációja következik be. A femorotibialis



3. ábra: Térdízület mediolateralis irányú röntgenfelvétele
1: tuberositas tibiae, 2: tibia plateau, 3: crista tibiae (saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum)

kontaktus aszimmetrikus, a tibia plateau lateralis részén a kontaktpont caudalisabban helyeződik, míg a tibia plateau medialis részén cranialisabban, ennek következtében a térd hajlításakor belső tibialis rotáció következik be a térdízületben. Ezt a belső rotációs kényszert a humán térdben írták le először, ez az úgynevezett „screw-home mechanism” (Muir, 2018).

A térdben fellépő rotáció körülbelül 20°-os lehet varus-valgus irányban és külső-belső rotációt tekintve. A medialis-lateralis tengelyen történő rotációs mozgás kiemelkedik a többi közül (Muir, 2018).

A patellofemorális ízület fontos szerepet tölt be a térd komplex biomechanikájában. A patella, mint íncsont emelőcsigaként működik a térd nyújtásakor. A quadriceps izmok mechanizmusának emelőkarját növeli azáltal, hogy meghosszabbítja a quadriceps izmok erejének és a flexiós-extenziós forgáspontjának távolságát. Az izommunka következtében fellépő patellofemorális erő a patellát a femur condylusának préseli, ami szintén egyik fontos stabilizálója a térdízületnek. A térd dinamikus stabilitását a hajlítás és nyújtás közben ható erők egyensúlya adja (Tepic et al., 2002; Muir, 2018).

A térdben a femur condylusainak és a tibia plateauának az érintkezése meglehetősen kevés stabilitást eredményez, ezért fontos a különböző lágyszöveti struktúrák szerepe. Stabilitás szempontjából a legfontosabbak a femorotibialis szalagok: a lig. collaterale laterale et mediale, az EKSZ és a HKSZ. Az EKSZ elsődleges szerepet tölt be a craniocaudalis elmozdulás és a külső-belső rotáció megakadályozásának szempontjából. A HKSZ-nek elsődleges szerepe van a tibia caudalis elmozdulásának megakadályozásában és segít csökkenteni a belső rotációt. Fontos megemlíteni a meniscusok stabilizáló szerepét is, amelyeknek emellett egyéb funkciói is vannak, többek között energia elnyelés, erők átvezetése a térdízületen, a terhelés egyenletes eloszlásának biztosítása és a synovialis membrán integritásának megőrzése mozgás közben (Canapp, 2007; Muir, 2018).

A térdízület biomechanikája EKSZ szakadás után

Kinematikus tanulmányok bizonyították, hogy EKSZ szakadás esetén cranialis tibialis subluxatio lép fel a mozgás teherviselő fázisában. Ez is bizonyítja, hogy az izmok nem képesek kompenzálni az EKSZ elvesztését. A tibia cranialis irányba történő elmozdulása a lendítőfázisban nem következik be. Tehát a térd stabilitása csak a megterhelés fázisában függ



4. ábra: Kutya séta közben egy futószalagos, fluoroszkópos vizsgálóberendezésben, kinematikus vizsgálat közben
(forrás: Kim et al., 2015)

a szalag integritásától (Kim et al., 2008). Napjainkban egyre több, korszerű képalkotó eszköz áll rendelkezésre az in vivo vizsgálatokra. Egy újabb tanulmányban, háromdimenziós in vivo fluoroszkópos vizsgálattal (**4. ábra**) elemezték 18 egyoldali EKSZ szalag szakadást szenvedett kutya térdét, majd az operációt követő 6 hónappal, az egészséges térdüket kontrollcsoportként. Séta közben végezték a vizsgálatokat, három cikluson keresztül. Eredményképpen azt kapták, hogy az EKSZ szakadt térdízület a járási ciklusban jobban hajlított pozícióban volt, mint a másik, illetve, hogy a cranialis tibialis elmozdulás mindig jelen van kis mértékben, azonban szignifikánsan nagyobb a megterhelés fázisában. A teherviselés fázisában a belső tibiális rotáció is nő (Tinga et al., 2018).

A térdben, álló helyzetben, normál terhelés esetén a m. gastrocnemius által kifejtett erő a femurt caudodistalis irányba húzza, míg a tibiára cranioproximalis nyíróerőt fejt ki. Ezeket az erőket normál esetben az EKSZ szalag semlegesíti, ezért annak szakadásakor a tibia cranioproximalis irányba mozdul el. A teherviseléskor megfigyelhető tibiofemorális nyíróerőt Slocum 1983-ban „cranial tibial thrust” elnevezéssel vezette be a szakirodalomba. (Slocum and Devine, 1983; Kim et al., 2008). Magyarul ezt cranialis tibialis tolóerőnek fordíthatjuk.

Az EKSZ szakadás kóroktana

Az elülső kereszteződő szalag szakadás a leggyakoribb hátulsó végtag sántasághoz vezető ok kutyákban. Kóroktana igen összetett. Traumás eredetű EKSZ szakadás kifejlett kutyákban ritka, amennyiben mégis bekövetkezik, általában a térdízületben található egyéb szalagok sérülésével együtt jelentkezik és térdficam alakul ki. Önálló, traumás EKSZ szakadás kissé gyakrabban alakul ki kölyökkutyákban, ami legtöbbször igazából avulziós sérülés következtében alakul ki, amely a szalag tibián való tapadását érinti (Hayashi et al., 2004; Ben-Amotz és Dycus, 2021).

A tudomány jelenlegi állása szerint a legvalószínűbb kórok kifejlett kutyákban az EKSZ progresszív degenerációja. Ez magyarázza azt a tényt is, hogy EKSZ szakadás esetén a contralateralis EKSZ szakadás esélye 50 % felett van (Ben-Amotz és Dycus, 2021). A degeneráció pontos oka ismeretlen, azonban több hajlamosító tényezőt is vizsgáltak számos

tanulmányban, ilyenek az fajta, az életkor, a nem, a testsúly, a tibia plateau szöge, a csontok alakulása.

Több forrás alapján a leggyakrabban érintett fajták: a labrador retriever, a rottweiler, az újfundlandi, az akita, a staffordshire terrier, különböző masztiff fajták, illetve összességében véve az egyenesebb lábú fajták. Vannak fajták, amelyek kifejezetten nem hajlamosak EKSZ szakadásra, ilyenek például az agarak (Whitehair et al, 1993; Hayashi et al., 2004; Griffon, 2010; DeCamp, 2015). Életkor szerint azt találták, hogy az EKSZ szakadás valószínűsége 7-10 év közötti korban a legnagyobb. Az EKSZ szakadás valószínűsége ivartalanított állatokban nagyobb, elsősorban nőstény kutyákban. A nagyobb testtömeggel rendelkező kutyákban (> 22 kg) nagyobb eséllyel alakul ki EKSZ szakadás, illetve hajlamosabbak fiatalabb korban elszerven a betegséget (Hayashi et al., 2004). A tibia plateau lejtése is szerepelhet a kiváltó okok között, az átlagos lejtésszög a klinikailag egészséges kutyákban 22,6 fok (Dennler et al., 2006). A lejtés mértéke fontos összetevője a cranialis tibialis tolóerő nagyságának. A nagyobb lejtés nagyobb erőhatásokat eredményez (Slocum and Devine, 1983). Ezt a ténytet később a műtéti technikák kialakításánál is figyelembe vették.

Az EKSZ szakadás diagnosztikája

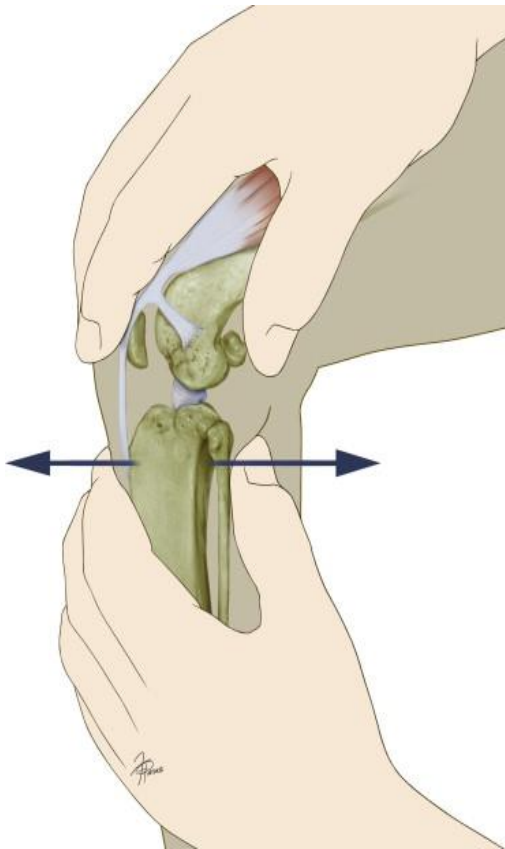
A betegség diagnosztizálása az adatok (nationale), a kórelőzmény (anamnesis), a klinikai tünetek, az ortopédiai vizsgálat és a képalkotó vizsgálatok együttes eredményén alapul, azonban a betegség diagnosztikájában legnagyobb szerepet a fizikális vizsgálat kapja. A kórelőzmény leggyakrabban közepes-súlyos, akut vagy krónikus hátulsó végtag sántaság. Általában az akut jelentkező sántaság körülbelül 2-3 hét után javul, majd ismét visszatér. Néhány betegnél a tünetek csak nagyobb aktivitást követően figyelhetőek meg, amelyek csupán a végtag merevségében nyilvánulnak meg (DeCamp, 2015; Ben-Amotz és Dycus, 2021).

Először megtekintjük a beteget járás, futás közben, megfigyeljük a teherviselést. A fizikális vizsgálat során tapintjuk a hátulsó testfél izomzatát, szimmetriáját. Ha a sántaság hetek óta fennáll a beteg oldalon az izomzat sorvadtabb, atrophizált. A vizsgálatot objektívebbé tehetjük, ha megmérjük a hátsó lábak körmértét azonos helyen. Tapintjuk a térdízület burkoltóságát, kiteltségét (effusio). A térdízület kiteltsége az ízületi nedv (synovia) mennyiségétől függ. Az aktuálisan gyulladásban lévő ízületben a synovia megszorodik. Krónikus esetben a térdízület burkolt a kialakuló arthrosis miatt (Diószegi, 2007; Canapp; 2007).

A fizikális vizsgálat során több, az EKSZ szakadására specifikus tesztet is elvégezhetünk oldalra fektetett helyzetben. Ezek a tesztek az ilyenkor fennálló craniocaudalis ízületi lazaságra épülnek. Amennyiben a femurhoz képest a tibia cranialis irányban

elmozdítható, abnormális ízületi lazaság áll fenn, ezt pedig fióktünetnek nevezzük. A fióktünet kiváltása úgynevezett statikus teszt. A distalis femurt rögzítjük, úgy, hogy a mutató ujjunk a patellán a hüvelykujjunk pedig a Vesalius-féle íncsontokon fekszik, a másik kezünkkel pedig a tibiát előre toljuk, úgy, hogy a mutatóujjunk a tuberositas tibiae-n nyugszik (**5. ábra**). A tesztet elvégezzük, nyújtott, hajlított állapotban és mintha a kutya a lábán állna, közel 135 fokos szögben. Kölyökkutyákban a teszt során kismértékű lazaság felfedezhető, ami nem tekinthető kórosnak (Kim et al.; 2008).

A másik specifikus teszt a tibia kompressziós teszt. Ez egy dinamikus teszt, mert a normál teherviselés során bekövetkező erőhatásokat próbálja utánozni. Leíróiról ezt a tesztet Henderson-Milton tesztnek is nevezzük (Henderson and Milton, 1978). Nagy testű kutyákon könnyebb végrehajtani ezt a tesztet, mivel a nagyobb tömegű izmok nehezítik a fióktünet kiváltását. A teszt végrehajtásakor a mutatóujjunkat a tuberositas tibiae-re helyezzük, miközben rögzítjük a femurt, a másik kezünkkel pedig az álló pozíciónak megfelelő 135 fokos szögben tartva a lábat hajlítjuk az állat bokáját (**6. ábra**). Ez a gastrocnemius izom feszüléséhez vezet, aminek következtében a tibiára cranioproximális nyíróerő hat. Normál esetben ezt az EKSZ semlegesíti, de annak szakadásakor a teszt során a tibia előre felé elmozdul (Canapp, 2007; Kim et al. 2008).



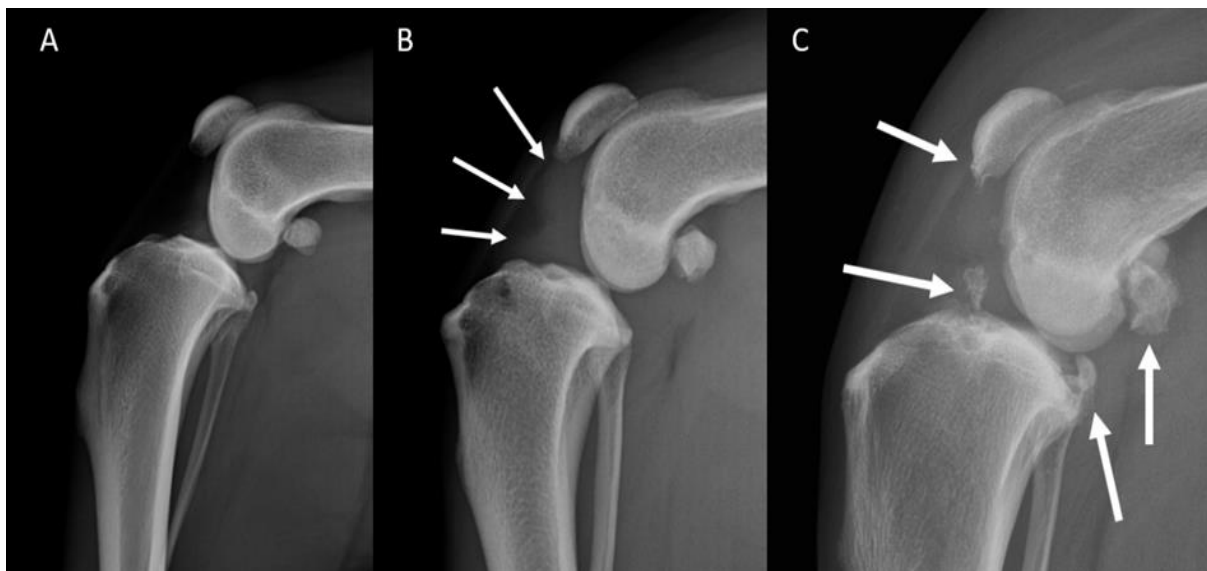
5. ábra: A fióktünet kiváltása
(forrás: Canapp, 2007)



6. ábra: A tibia kompressziós teszt végrehajtása
(forrás: Canapp, 2007)

A képalkotó diagnosztikai módszerek közül a röntgenfelvételeken az EKSZ szakadása nem ábrázolódik, csupán annak másodlagos jeleit fedezhetjük fel. Heveny esetben az ízület effusioja, illetve idült esetekben az arthrosis jelei megfigyelhetők a radiológiai vizsgálat során (7.ábra) (Ben-Amotz and Dycus, 2021). A tibia rendellenes cranialis irányú elmozdulását a tibia kompressziós teszt elvégzésével szintén meg lehet jeleníteni a röntgenfelvételen. A betegség diagnosztizálásában nem a képalkotó vizsgálatok kerülnek előtérbe, mert a fent említett tesztekkel a fizikális vizsgálat során egyértelműen megállapítható az EKSZ teljes szakadása. A műtéti tervezéshez és egyéb ortopédiai betegségek kizárására azonban minden esetben szükségünk van radiológiai vizsgálatra.

Részleges EKSZ szakadás vagy postoperatív meniscus sérülés gyanúja esetén azonban hasznos lehet egyéb képalkotó diagnosztikai eszközöket is igénybe venni, mint az MRI, az ultrahang vagy az arthroscopia. Egy 2008-ban készített tanulmány szerint, 1,5 Teslás MR készülékkel vizsgálva a térdízületet, meniscus sérülés esetén, az MRI szenzitivitása 100 %, míg a specificitása 94 % (Blond et al., 2008). Ultrahanggal, maguk a kereszteződő szalagok nem vizsgálhatóak jól, azonban a környező lágyszövetek állapotáról információt nyerhetünk (Gnudi és Bertoni, 2001). Az összes képalkotó módszer közül, az arthroscope a legpontosabb eszköz a meniscus sérülések megítélésére (Pozzi et al., 2008). Egyben terápiás eszköz is, hátránya, hogy a többi képalkotó vizsgálathoz képest invazív, műtéti körülményeket kíván.



7. ábra: Egészséges, kitelt, illetve arthroticus térdízület kutyákban

A. Egészséges térdízület mediolateralis RTG felvételen, B. Térdízületi effusio mediolateralis RTG felvételen, a nyilakkal jelölt részen fokozott radiodenzitás látható, C. Térdízületi arthrosis mediolateralis RTG felvételen, a nyilakkal jelölt területen osteophyták figyelhetők meg (saját képek, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum)

Az EKSZ szakadás terápiaja

Az EKSZ szakadás terápiaja, a betegség gyakorisága miatt, a kisállat ortopédia egyik központi témája. Nem jelent abszolút műtéti indikációt, kezelése lehetséges konzervatív és műtéti úton is. Az EKSZ szakadásából eredő instabilitás fájdalmat, ebből következően sántaságot, a térdízület arthrosisát okozza és a rendellenes mozgásnak köszönhetően a meniscusok sérüléséhez is vezethet (Kim et al., 2008). Kevés tanulmány létezik a konzervatív kezelés és a műtéti ellátás kimenetelének összehasonlításáról, azonban a legtöbb esetben műtéti ellátás javasolt a térdízület gyorsabb stabilizálása, az esetleges meniscus sérülések ellátása és a gyorsabb klinikai javulás érdekében (Bergh et al., 2014). A műtéti ellátás egyik fő célja, hogy lassítsa a kialakuló osteoarthritis (OA) progresszióját. Az EKSZ sérülését követően kialakuló instabilitás miatt abnormális ízületi terhelés alakul ki, ami miatt a chondrocyták sérülnek, megindul az osteoarthritis. A különböző műtéti technikákkal lassíthatjuk a folyamatot, azonban teljesen megszüntetni nem tudjuk (Ben-Amotz and Dycus, 2021). Egy tanulmány szerint, 15 kg alatti kutyáknál a konzervatív terápia általában (84-90 %) elfogadható lábhasználatot eredményez, de ezekben az esetekben is jobb eredmény érhető el műtéti terápiával (Kim, et al., 2008). A dolgozat témája bizonyos műtéti technikák komplikációinak vizsgálata, így a konzervatív kezelést részleteiben nem tárgyalom.

Az évek folyamán sok műtéti technikát fejlesztettek ki az EKSZ szakadás kezelésére. A legtöbb módszer a humán térdsebészetből átvett módszer. Minden technika a térdízület stabilitásának visszaállítását célozza. A műtéteket feloszthatjuk szalagpótló technikákra, illetve a tibia korrekciós osteotomiák csoportjára.

A szalagpótló technikákat tovább osztályozhatjuk intraarticulatio (intracapsularis), illetve extraarticulatio (extracapsularis) szalagpótlásokra. Az intracapsularis szalagpótló technikákat, amelyek intraarticulatio graftok felhasználásával történtek, kezdetben használták, de ma már nem alkalmazzák kutyákban, az EKSZ degeneratív kóroktana, illetve a graftok alacsonyfokú beépülése miatt (Biskup and Griffon, 2014).

Az extraarticulatio vagy extracapsularis szalagpótlási technikák széles körben elterjedtek. Ilyenek például a mind közül legelterjedtebb LFS (Lateral Fabellar Suture), illetve a Tightrope technika. Az LFS esetében a lateralis Vesalius-csont (lateralis fabella) alá és a tuberositas tibiae cranioproximalis pontjába helyezett furatba helyezik a szalagpótló fonalat (Roe et al. 2008; Biskup and Griffon, 2014).

Az intraarticulatio és extraarticulatio műtéti technikák nem képezik a dolgozat témáját, ezért nem kerülnek további tárgyalásra.

A műtéti technikák fejlődésével a kutatások egyre inkább a térd dinamikus stabilizálásának irányába fordultak, mert a „hagyományos”, szalagpótló technikák hosszú távú kimenetele nem érte el a kívánt eredményeket. A dinamikus stabilizálás a csontok

geometriájának megváltoztatásával lehetséges, ezek a tibia korrekciós technikák (Kim et al., 2008).

Az első tibia korrekció technika, amelyet 1984-ben Slocum és Devine írt le, a cranial tibial wedge osteotomy (CWTO). A műtét elve, hogy a teherviselés során fellépő cranialis tibiofemorális nyíróerőt, a tibia plateau hátrafelé irányuló dőlésszögének csökkentésével semlegesítik, ezzel dinamikus stabilitást létrehozva. Passzív stabilizáció (szalagpótlás) így nem szükséges, mert teherviselés közben nem történik cranialis tibialis sublaxatio. A módszer leírása után számos egyéb technikát fejlesztettek ki, amely dinamikus stabilizáción alapul. Ilyen műtéti technikák még, csak a ma leggyakrabban használatos, illetve a dolgozat szempontjából fontos módszereket említve:

- Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)
- Tibial Tuberosity Advancement (TTA)
- TTA-rapid
- circular Tibial Tuberosity Advancement (cTTA), illetve az általunk leírt módosított cTTA (mcTTA)
- Modified Maquet Technique (MMT)

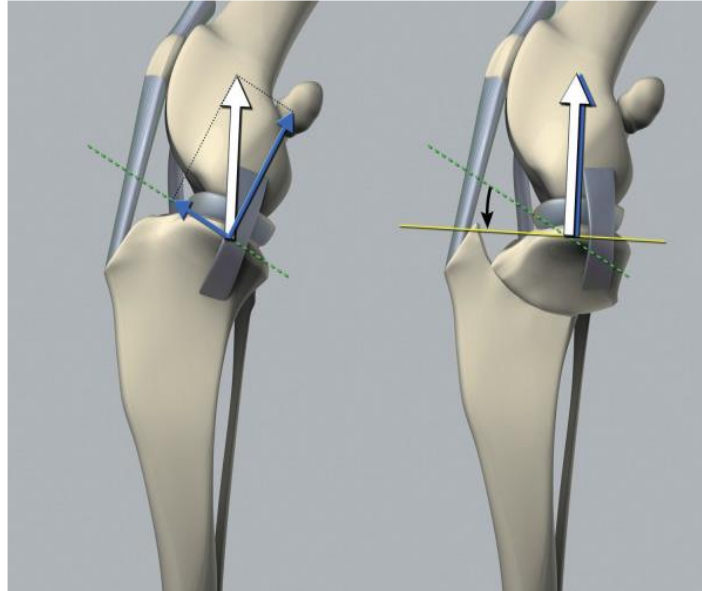
Bármilyen technika mellett döntünk, a műtét első lépéseként el kell végezni a térdízület áttekintését, a szakadt szalagrészek eltávolítását, a meniscusok vizsgálatát. Ezt a folyamatot „cleaning up”-nak nevezzük. A beavatkozást elvégezhetjük medialis vagy lateralis parapatellaris feltárásból, mikroarthrotómiával vagy arthroszoppal (Diószegi, 2007).

TPLO (Tibial Plateau Leveling Osteotomy)

A TPLO (tibia plateau leveling osteotomy, tibia plató dóm osztotómia) igen népszerű módszer a kutyák EKSZ szakadásának kezelésére. A módszert ugyanaz a szerző írta le 1993-ban, aki a CWTO technikát jegyzi (Slocum és Slocum, 1993). A módszer alapja, akárcsak a CWTO esetében, hogy a cranialis tibiofemorális nyíróerőt a tibia plató lejtésének csökkentésével semlegesíti.

A műtét elvét a térd úgynevezett aktív modelljével érthetjük meg. A modell szerint a térdben ható kompressziós eredő erő alapvetően párhuzamos a tibia funkcionális tengelyére, azonban a tibia plateau caudalis irányú lejtése miatt az ízületi felszínek között létrejövő erők a tibia cranialis irányú elmozdulása felé hatnak. Az eredő erő két vektorra bontható, amelyek közül egy merőleges, egy pedig párhuzamos a tibia plateauval. A tibia plateauval párhuzamos erő azonos a korábban említett cranialis tibialis tolóerővel. Ha a tibia plateau lejtését 0 fokra korrigáljuk, a cranialis tibialis tolóerő is 0-ra redukálódik és a plateaura merőleges erővektor és az eredő erő egybe esik. Tehát valójában az erőhatás megmarad, de a tibia plateau áthelyezzük az erőhatás irányába. A valóságban a tibia plateau lejtését a műtétet követően 0

és 5 fok között tartjuk elfogadhatónak. Az 5 fokos eltérés még azért elfogadható, mert a kismértékű lejtésből eredő kismértékű erőhatásokat az izomzat még képes korigálni (Boudrieau et al., 2009). Az erőhatások alakulását a **8. ábra** szemlélteti.



8. ábra: Erőhatások alakulása Slocum szerint

A bal oldali ábra a preoperatív, a jobb oldali pedig a posztoperatív erőhatásokat szemlélteti. A zöld, illetve sárga vonalak a tibia plateau vonalát jelölik. A bal oldali ábrán a kék nyilak a kompressziós eredő erő összetevői (a plateauval párhuzamos erővektor a cranialis tibialis tolóerő vektora)

(Forrás: Peter Muir: Advances in the Canine Cranial Cruciate Ligament, 2010; Boudrieau et al.; 2009 nyomán)

A műtét során a térdízület áttekintése után, a tibia proximalis részén egy köríves oszteotómiát hajtanak végre erre kifejlesztett speciális fűrészpengékkel (**9. ábra**) és a levágott proximalis darabot a tibiához képest caudalisan forgatják. A forgatás mértékét a preoperatív tervezés során határozzák meg és bejelölik még a fűrészelés teljessé válása előtt, hogy az elmozduló csontdarabokon is pontosan lehessen látni a szükséges korrekciót. Az elforgatott darabot időlegesen egy Kirschner-dróttal (K-drót), majd egy erre a célra kialakított speciális lemezzel rögzítik. A lemez felhelyezése után a K-drót eltávolításra kerül (**10. ábra**).



9. ábra: TPLO fűrészhez (Securos Surgical) való, különböző sugarú fűrészpengék
(saját kép)



10. ábra: TPLO műtét postoperatív mediolateralis irányú RTG felvétele
(saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum)

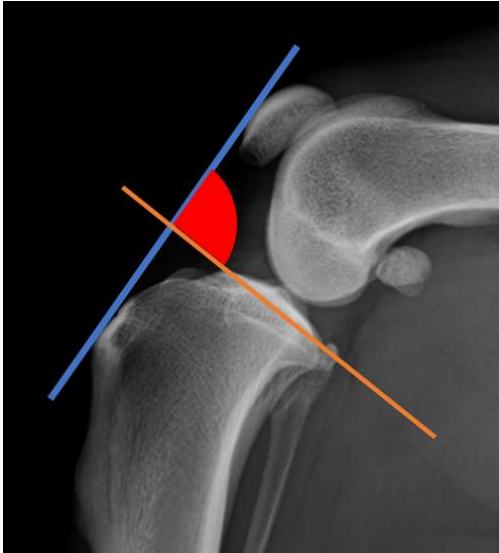
Három tanulmány alapján a TPLO komplikációs rátája 18,8-28 % között mozog (Pacchiana et al., 2003; Priddy et al., 2003; Stauffer et al., 2006). Gyakoriságukat tekintve csökkenő arányban felsorolva a következő komplikációk fordultak elő: sebbel kapcsolatos komplikációk (ödéma, seroma, duzzanat), fertőzések, csontállománnyal kapcsolatos komplikációk (tuberositas tibiae, tibia és fibula törések), implantátummal kapcsolatos problémák (csavarok lelazulása, lemeztörés). A komplikációk gyakorisága azonban szoros kapcsolatban áll a technika tanulási folyamatával. Néhány komplikáció a TPLO-t követő anatómiai változások miatt alakulhat ki. Ilyenek a pivot shift (a súlyviselés során a tibia hirtelen belső rotációja következik be a boka és a térdízület irányának lateralizációjával egybekötve), a patella ín megvastagodása és a patella ín gyulladása. A betegszelekciót tekintve hátulsó kereszteződő szalag szakadt kutyáknál ez a terápia nem javasolt. A megfelelő eszközrendszerrel a műtét kis- és nagyméretű kutyákon egyaránt elvégezhető. A módszer patella ficam korrekciójára is alkalmas.

TTA (Tibial Tuberosity Advancement)

Egy másik elterjedt módszer az EKSZ szakadás műtéti kezelésére a TTA (Tibial Tuberosity Advancement, tuberositas tibiae cranialis nyílózó ék osteotomia). Mint a kisállat ortopédiában alkalmazott legtöbb módszer, ez is a humán ortopédiából átvett technika (Maquet, 1976). Kutyák elülső kereszteszűdű szalag szakadásának kezelésére a módszert először 2002-ben Montavon, Damur és Tepic írta le (Montavon et al; 2002). Ez az eljárás a térdízület stabilitását a cranialis tibiofemorális nyíróerő dinamikus elven való kikűszöbölésével éri el. Tepic úgy gondolta, hogy a Slocum által megalkotott térdízület biomechanikai modellje túl egyszerű és sok egyéb tényezőt kell figyelembe venni (különböző izmok és inak által kifejtett erők).

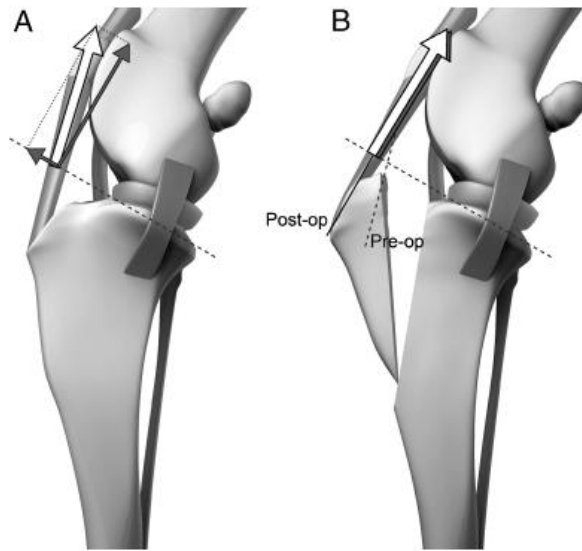
A TTA elve a humán térdízület biomechanikai modelljén alapul. A modell alapján a tibiofemorális kompressziós erő megközelítőleg azonos nagyságú és irányú, mint a patella ínra ható erő, ami változó tibiofemorális nyíróerőt eredményez. Ennek az erőhatásnak a vektora a térdízület nyújtott helyzetében előre, hajlított helyzetben pedig hátrafele mutat. A humán modellben azt a pontot, amikor a tibiofemorális nyíróerő neutrálissá válik, „crossover” pontnak (átfordulási pont) nevezték el. Ez akkor következett be, amikor a patella ín szög (PTA: Patellar Tendon Angle) körülbelül 100° volt. A patella ín szög, a patella ín, illetve a tibia plateau vonala által bezárt szög (**11. ábra**) (Boudrieau, 2009).

Ezt a humán modellt alkalmazták kutya térdízületre is, azzal a különbséggel, hogy az átfordulási pontot 90° -ban határozták meg. Tehát ha a PTA $> 90^\circ$, akkor a tibiofemorális nyíróerő cranialis irányú, ha pedig a PTA $< 90^\circ$, akkor caudalis irányú. Azt feltételezték, hogy ha teherviselés közben a térdízületben a PTA $\leq 90^\circ$ -al, akkor egyáltalán nem lép fel, vagy csak caudalis irányú tibiofemorális nyíróerő hat, így a tibia cranialis irányú elmozdulása nem következik be. Tehát a cél ez alapján az elmélet alapján, hogy a térdízület teljes nyújtott helyzetében, illetve a teherviselés közben fellépő hajlított pozíciókban (körülbelül 135°), a PTA-nak mindig \leq kell lennie 90° -nál. Ezt az állapotot a patella ín tapadási pontjának, azaz a tuberositas tibiae előrevitelével lehet elérni (Tibial Tuberosity Advancement, TTA). Az erőhatások alakulását a **12. ábra** szemlélteti (Boudrieau, 2009).



11. ábra: Patella ín szög (PTA)

A kék vonal a patella ín vonalát jelöli, a narancssárga vonal a tibia plató vonalát jelöli, a két vonal által bezárt, pirossal jelölt szög pedig a PTA (saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum)

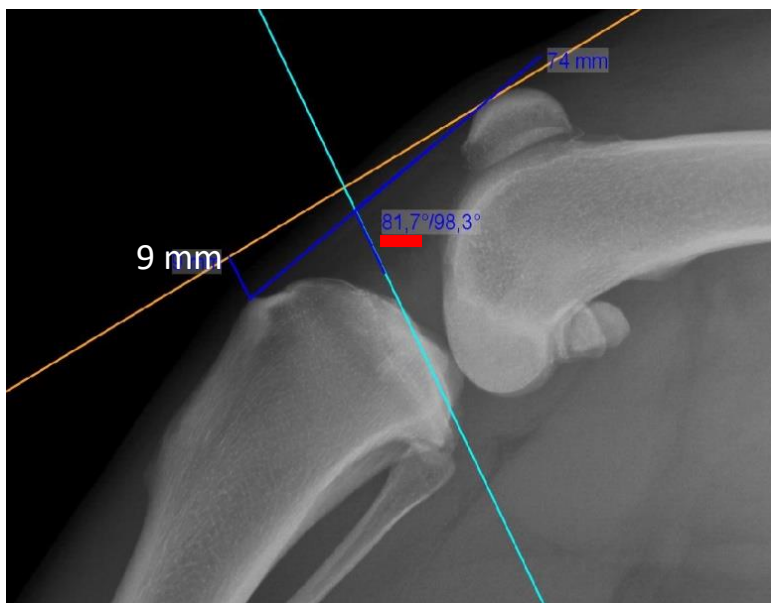


12. ábra: A tibiofemorális erők alakulás a térdízületben Tepic szerint TTA műtét előtt (A) és után (B)

A nagy fehér nyíl az eredő kompressziós erőt szemlélteti. Az eredő kompressziós erő két derékszöget bezáró erőre bontható a tibia plateau vonalát alapul véve. A tibia plateauval párhuzamos erő a tibiofemorális nyíróerő. A TTA-műtét utáni ábrán (B) látható, az előrevitel miatt a PTA 90 fokra redukálódott, így a tibiofemorális nyíróerő is megszűnt, az eredő erő és az ízületre ható kompressziós erő vektora egybeesik (Forrás: Boudrieau et al., 2009)

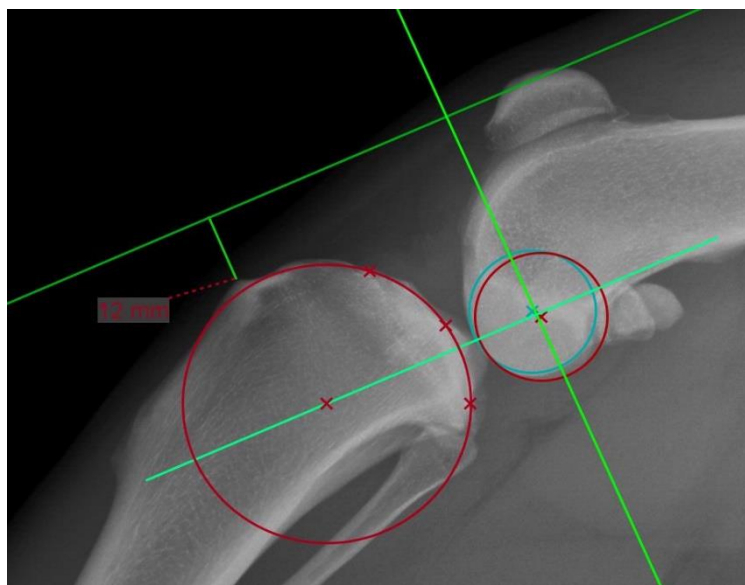
A műtét előtt preoperatív tervezés szükséges az előrevitel pontos mértékének meghatározásához. A műtéti tervezés alapelve, hogy a korrekció végrehajtása után a patella egyenes szalagja és a tibia plateau által bezárt szög (PTA) 135°-ban (álló testhelyzetnek megfelelően) beállított térdízületben derékszöget zárjon be. Így a tervezéshez az érintett végtagról készült mediolateralis beállítású, térdízületre centrált röntgenre van szükség, amelyen a femur és a tibia hossz tengelye 135°-ot zár be. A femur condylusainak fedniük kell egymást, a tibia condylusainak szintén és fontos, hogy a tibia ne csússzon előre a fióktünetnek megfelelően. Ha a tibia helyzete megfelelő, a fibula közép hosszan ábrázolódik (Lafaver et al., 2007; Zólyomi et al., 2015b).

A feltételeknek megfelelő RTG felvételeken kétféle mérési módszerrel lehet meghatározni a szükséges előrevitel mértékét, ezek a közös tangens mérési módszer (CTM) és a tibia plateau slope módszer (TPSM) (Dennler et al., 2006; Lafaver et al., 2007). Kezdetben a műtéti tervezéshez a Kyon (Kyon, Zürich, Svájc) által készített TTA tervező templátot használták a szükséges előrevitel mértékének meghatározásához, illetve a megfelelő méretű implantátumok kiválasztásához (Lafaver et al., 2007), de ezeket később a digitális technika terjedésével ortopédiai tervezőszoftverek váltották fel. Az Állatorvostudományi Egyetemen



13. ábra: Tibia plateau slope mérési módszer (TPSM)

A világoskék vonal a tibia plateauat, a sötétkék vonal a patella egyenes szalagját, míg a narancssárga vonal a patella egyenes szalagjának korrekció után kívánt pozícióját jelöli. A narancssárga vonal és a tuberositas tibiae távolsága adja a korrekció mértékét (9 mm). A PTA szöge pirossal aláhúzva 81,7°. Az értékeket a mérőszoftver számolja ki (saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum, szoftver: Control X Medical Kft.)



14. ábra: Közös tangens mérési módszer (CTM)

A körök a femur, illetve a tibia condylusait jelölik, ezek közös érintője a közös tangens. A körök középpontját összekötő egyenessel párhuzamos, patella ín szalagjának eredési pontján áthaladó egyenes a korrekció után kívánt helyzet (világoszöld vonal). A tuberositas tibiae és eközötti távolság a korrekció kívánt mértéke (12 mm) (saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum, szoftver: Control X Medical Kft.)

Dr. Solymosi Norbert vezetésével saját, ingyenesen felhasználható tervezőszoftvert is fejlesztettünk, amely alkalmas a TPSM és a CTM használatára (Zólyomi et al., 2015a).

A TPSM-nél meghatározzuk a tibia plateau vonalát, majd erre merőlegest állítunk, úgy, hogy a merőleges áthaladjon a patella egyenes szalagjának eredési pontján. Ezzel a merőlegessel megkapjuk a patella szalagjának ideális helyzetét. A merőleges és a tuberositas tibiae távolsága adja a korrekció mértékét (13. ábra) (Lafaver et al., 2007).

A CTM-nél elsőként a femur condylusaira illeszkedő köröket helyezünk el, majd a tibia condylusaira illeszkedő kört rajzolunk. A két kör közös érintője a közös tangens. A körök középpontját összekötve egy, az érintőre merőleges egyenest kapunk. Ezzel az egyenessel párhuzamos egyenest állítunk a patella egyenes szalagjának eredési pontjára. Itt is az egyenes tuberositas tibiae-től való távolsága adja a korrekció nagyságát (14. ábra) (Dennler et al., 2006).

Arra vonatkozóan, hogy melyik mérési módszerrel kapunk pontosabb és jobb eredményt klinikailag, több tanulmány is készült, de az eredmények nem egyértelműek. 2013-ban egy tanulmányban 43 darab RTG felvétel vizsgálata után arra az eredményre jutottak, hogy a CTM megbízhatatlan, ezért nem javasolják a használatát (Millett et. al, 2013). 2014-ben 14 EKSZ szakadást szenvedett kutya térdízületein végzett mérések alapján a TPSM és a CTM az esetek 86 %-ában eltérő eredményt adott a korrekció mértékére vonatkozólag (Cadmus et al., 2014). Egy 2015-ös vizsgálatban számítógépes modellen vizsgálták a térdízület biomechanikai tulajdonságait TTA műtét után, mindkét mérési módszer alapján kapott korrekciós mértékkel. Ez alapján mindkét esetben ugyanolyan biomechanikai tulajdonságokat állapítottak meg teherviselés során, TTA műtét után, tervezési technikától függetlenül (Brown et al., 2015).

Az előrevitel mértékének meghatározása után TTA esetében a lemez és az ahhoz használatos villa mérete is meghatározásra kerül. A műtét során „cleaning-up” után megtörténik az osteotomia, az előrevitel, majd az implantátumok behelyezése (cage, lemez, villa és csavarok). A TTA műtéthez a Kyon cég (Kyon, Zürich, Svájc) saját implantátumokat fejlesztett. Az előrevitel fenntartását a cage szolgálja, amely speciális távtartó implantátum, ezeket csavarokkal rögzítik a crista tibiaehez, illetve a tibia proximalis részéhez. Az osteotomizált darabot az erre kialakított speciális lemezzel is rögzítik, amely a tuberositas tibiae, illetve crista tibiae területén úgynevezett villával, míg a tibiában csavarokkal rögzül. A két darab közötti területre, az osteotomia vonalában csont allograft kerül behelyezésre (Lafaver et. al, 2007). Egy kész TTA modellje a **15. ábrán** látható. Ezt a műtéti technikát ennél részletesebben nem ismertetem, mert a dolgozat szempontjából csak a TTA módosított verziói fontosak.



15. ábra: TTA műtét modellje

(forrás:

https://www.kyon.ch/products-solutions/tta_tibial-tuberosity-advancement/)

A szakirodalomban az eredeti TTA módszer tekintetében jelentős mennyiségű publikáció található a műtét komplikációiról. Az egyik legnagyobb tanulmány (Costa et al., 2017) 1613 eset kapcsán vizsgálta a TTA műtét utáni major komplikációkat, amelyek az esetek 13,4 %-ában jelentkeztek. Major komplikációnak tekintették a műtét utáni fertőzéseket, a medialis meniscus postoperatív sérülését, az implantátum elégtelenséget, a postoperatív kialakuló térdkalácsficamot, illetve a különböző csonttöréseket.

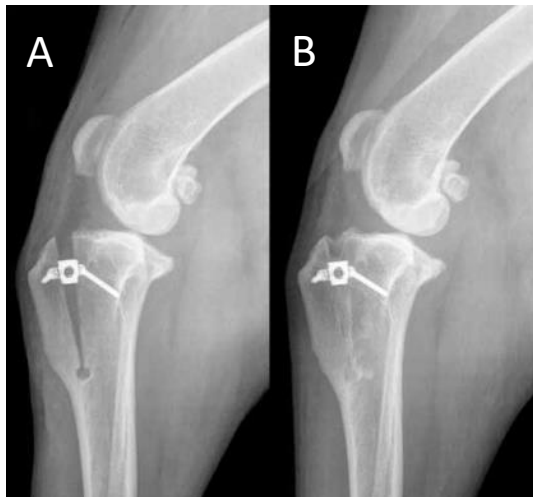
A TTA-nek egyre több módosított verziója jelenik meg, ugyanis az eredeti módszernél az implantátumok behelyezése viszonylag nehézkes, bonyolult, időigényes. A módosított

verziók közé tartozik az értekezés szempontjából kiemelt fontosságú TTA-rapid és cTTA műtéti technika, továbbá a módosított Maquet technika (MMT, Modified Maquet Technique) és a TTA-CF (Tibial Tuberosity Advancement Technique with Cranial Implant Fixation). A különböző módosított technikák kifejlesztésének céljai, hogy a műtét kevesebb időt, kevesebb implantátumot igényeljen (Samoy et al., 2015), kevésbé legyen invazív, illetve csökkenjen a komplikációs ráta.

MMT (Modified Maquet Technique)

A műtéti technika a Maquet eljárás alapul, akárcsak a TTA. A Maquet által 1976-ban leírt műtét eredetileg emberekben a retropatelláris fájdalom enyhítésére szolgált. Az MMT módszert 2011-ben írták le először EKSZ szakadás kezelésére kutyákban, a műtéti leírást és az első 20 eset rövidtávú kimenetelét publikálták (Etchepareborde et al., 2011).

Az eredeti leírásban a műtéti tervezéshez a TPSM-et (**13. ábra**) választották, a Kyon (Kyon, Zürich, Svájc) eredeti tervezőtemplátját használták. A műtéti ellátás során a „cleaning-up” és a műtéti feltárás után a crista tibiae distalis részétől 5-15 mm-re (a kutya méretétől függően) distalis irányban fúrnak egy mediolateralis irányú furatot, egyből a cranialis cortexől caudalisan (Maquet lyuk). Az osteotomia a tibia saggitalis síkjára merőleges és distalisan a Maquet lyukba fut bele. Az osteotomia végrehajtása után egy speciális eszközzel az osteotómia vonalát nyitják, majd egy titán cage (Kyon, Zürich, Svájc) kerül behelyezésre, amelyet 2,4 mm-es corticalis csavarokkal rögzítettek. Tehát a TTA-val ellentétben, az MMT során a crista tibiae nem kerül teljesen elválasztásra a tibia többi részétől, csupán előrefele hajtják a tuberositas tibiae és a crista tibiae, a cranialis cortex kapcsolata megmarad. Az MMT



16. ábra: MMT módszerrel operált kutya térdízületének röntgenfelvétele

A: azonnal postoperatív, illetve B: műtétet követő harmadik hónapban (forrás: Etchepareborde et al., 2011)

technika postoperatív RTG képe a **16. ábrán** látható. Amennyiben a sebész szükségesnek ítélte, a crista tibiae distalis része és a tibia közé 8-as alakú feszítő dróthurok került behelyezésre, a nagyobb stabilitás érdekében. Csont graftot az osteotomiás résben nem használtak (Etchepareborde et al., 2011).

Az eredeti leírásban szereplő 20 esetből 2 esetben lépett fel postoperatív meniscus sérülés (10 %). Ezek a betegek ismételt műtéti ellátásra kerültek. Egy betegnél (5 %) a 3 hónapos postoperatív képen crista tibiae törés nyomait fedezték fel, de klinikai tünet nem jelentkezett (Etchepareborde et al., 2011).

TTA-rapid

A TTA-rapid műtéti technikát elsőként 2015-ben írták le. A cikk szerzői saját fejlesztésű implantátumot és ehhez kapcsolódó eszközrendszert fejlesztettek ki, a cikkben megtalálható a műtéti leírás, illetve az első 50 eset korai tapasztalatai (Samoy et al., 2015).

A preoperatív tervezésnél az előrevitel mértékének meghatározáshoz az eredeti leírás szerint a CTM-et (**14. ábra**) választották. Az MMT-hez hasonlóan itt sem fűrészelik le a tuberositas tibiaet és a crista tibiaet teljesen, csupán előrehajtják. Ehhez a tervezés során meghatározzák a szükséges távtartó (cage) méretét, illetve a Maquet lyuk pozícióját. Az eredeti leírásban ehhez egy speciális templátot vagy pedig egy ortopédiai mérőszoftvert (OsiriX Foundation, Geneva, Switzerland) használtak (Samoy et al., 2015).

A műtéti technikához speciális titán cage-eket fejlesztettek ki. A cagek különböző méretben kerültek kialakításra craniocaudalis és mediolateralis irányban is. A craniocaudalis méret határozza meg, hogy hány mm-es előrevitelhez használhatóak. Az eredeti leírásban 3 és 12 mm közötti cageket említenek, 1,5 mm-enként növekedve. A mediolateralis irányban 10 és 28 mm közötti méretek állnak rendelkezésre. Ez a méret a tibia mediolateralis irányú vastagságától függ. Biomechanikai okoknál fogva a cage lejtése, vagyis, hogy milyen mértékben szűkül distalis irányban, meghatározza a Maquet lyuk pozícióját is. A cage egyedülálló abból a szempontból is, hogy belül üreges, az oldala méhsejt szerkezetű, az optimális csontbeszárjadzás érdekében (Samoy et al., 2015).

A műtét a korábbiakban már említett „cleaning-up”-al kezdődik. Elsőként a Maquet lyuk pozícióját jelölték be, majd fúrták ki a lyukat. Ez kezdetben inkább becslések alapján került meghatározásra, később a szerzők által kifejlesztett eszközrendszert használták, amely pontosan kijelölte a Maquet lyuk pozícióját. A lyuk kifúrása után következik az osteotomia, ehhez az ízületi tokon keresztül, ideiglenesen, mediolateralis irányba, a m. extensor digitorum longus eredési inának árka felé egy K-drótot helyeznek be, a Maquet lyukba pedig egy U alakú drótot, majd erre a két drótra helyezik fel a fűrészpenge vezetőjét. Ezután megtörténik az osteotomia a mediolateralis síkra merőlegesen, majd a drótok és a vezető eltávolításra kerül. Ezután az osteotomia vonalában végre kell hajtani az előrevitelt, amihez szintén speciális eszközök állnak rendelkezésre. A kívánt távolság elérése után a cage behelyezésre, majd rögzítésre kerül csavarokkal. Az osteotomiás rést hydroxil-apatite csontpasztával töltötték fel (REDy HA Bone Paste) (Samoy et al., 2015). A TTA-rapid műtét csontmodellen, illetve postoperatív röntgenfelvételen a **17. ábrán** látható.

A cikkben szereplő 50 betegről a műtétet követően, illetve havonta a műtétet követő 3. hónapig RTG felvételek készültek, illetve levideózták az összes beteg mozgását ugyanezen időben. Intraoperatív komplikációk 6 esetben (12 %), minor komplikációk 15 esetben (30 %), major komplikáció pedig 2 esetben (4 %) lépett fel. Mindkét major komplikáció a műtétet követő

első hónapban jelentkezett, a crista tibiae eltörött és cranialis irányban elmozdult (Samoy et al., 2015). A TTA-rapid komplikációi kiemelt szerepet játszanak a dolgozat szempontjából így részletesen a saját klinikai kutatások fejezetben kerülnek tárgyalásra.



17.ábra: TTA-rapid műtéti technika

A: a TTA-rapid műtét csontmodellen, B: TTA-rapid műtét posztoperatív képe

(forrás: A: <https://leibinger.vet/tta-rapid/surgery-instructions/>; B: saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum)

cTTA (circular Tibial Tuberosity Advancement)

A műtéti technika, ahogy előzőleg említettem a TTA műtétből került kifejlesztésre, annak biomechanikai elvével megegyezik. Magát a módszert Massimo Petazzoni olasz állatorvos írta le. A 2009-es European Veterinary Conference Companion Animals: Free Communications szekciójában szerepelt először önálló témaként, az első szakirodalmi leírás pedig a 2010-es Bolognaban rendezett World Veterinary Orthopedic Congress (WVOC) írott anyagában került közlésre (Petazzoni, 2010).

Csakúgy, mint a TTA ez is egy dinamikus elven működő tibia korrekációs technika. A műtét lényege, hogy a tuberositas és a crista tibiae területét a tibia hossz tengelyére merőlegesen egy radialis irányú osteotomiával teljesen leválasztjuk és az így kapott darabot cranialisan, proximalisan forgatjuk el a preoperatív tervezés során meghatározott mértékben. Így a patella ín tapadásának helye megváltozik a tibia platóhoz képest, felfelé és előre felé mozdul el, a kívánt korrekció után a tibia plateau és a patella egyenes szalagja egymással 90°-ot zárnak be (Petazzoni, 2010).

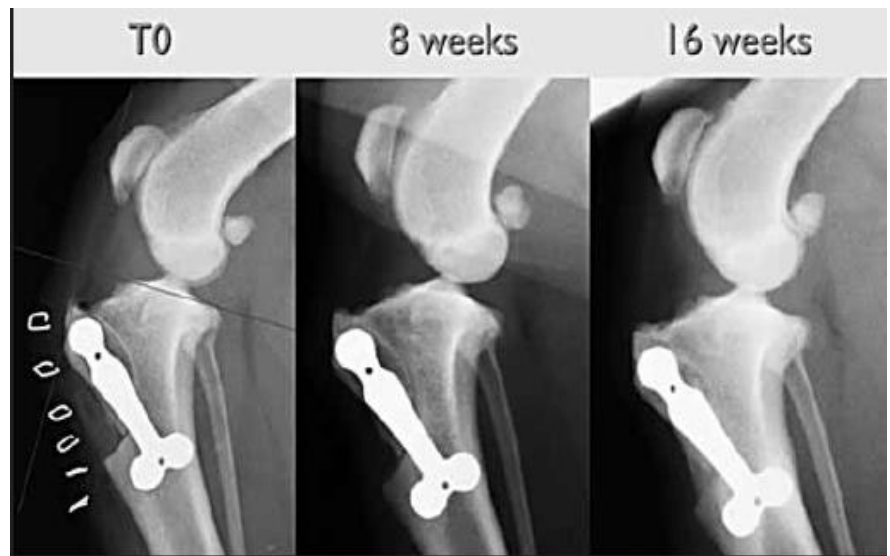
A műtéti technika előnye, hogy ellentétben a TTA-val, TTA-rapiddal és MMT-vel, ahol az osteotomia helyén rés képződik, a radialis osteotomiának köszönhetően a cTTA esetében a csontdarabok egymásnak fekszenek, amely gyorsabb gyógyulást tesz lehetővé. A radialis osteotomia előnyei közé tartozik az is, hogy folyamatos mértékű korrekciót tesz lehetővé,

ellentétben a TTA-val, TTA-rapiddal és az MMT-vel, ahol meghatározott nagyságú implantátumok közül választhatunk (Ipolyi et al., 2015).

Petazzoni a 2010-es WVOC-on ismertetett kutatás keretében 89 kutyán hajtott végre ezt a műtétet. A preoperatív tervezést tekintve az eredeti leírásban nincs információ arra vonatkozólag, hogy TPSM-el vagy CTM-el készültek-e a mérések, erre vonatkozóan csak egy ábra szerepel (**18. ábra**), amelyen a TPSM látható. Az ábrán továbbá megfigyelhető, hogy a fűrészpengét modellező kört úgy kell elhelyezni, hogy a tibia az osteotomia után is a legvékonyabb területen elérje az eredeti vastagságának 60 %-át. A fűrészpengét modellező kör pontos elhelyezéséről ezt leszámítva nem található információ. A preoperatív tervezést követően, mint minden egyéb EKSZ szakadás kezelésére szolgáló műtétnél, a „cleaning-up” az első lépés. Az osteotomia rögzítésére 4 és 5 lyukú szögstabil lemezt (Fixin locking plate system, Intrauma) alkalmaztak (**19. ábra**).



18. ábra: cTTA műtét preoperatív tervezése
(forrás: Petazzoni, 2010)



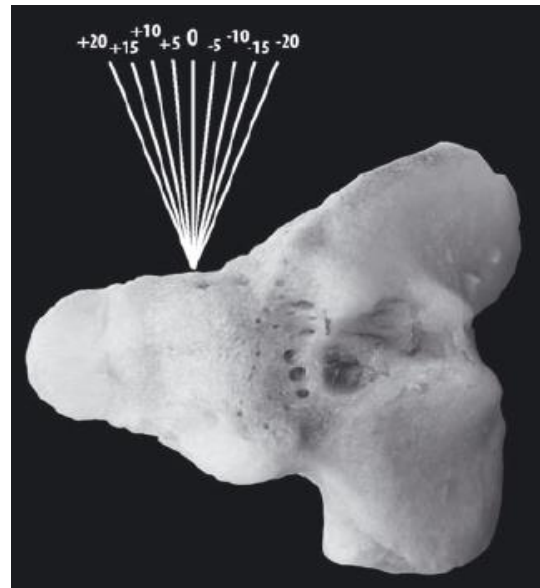
19. ábra: A cTTA eredeti rögzítése és a gyógyulási folyamat
Azonnali postoperatív felvétel, műtét után 8 és 16 héttel
(forrás: Petazzoni, 2010)

A RTG-es kontroll vizsgálatok szerint az átlagos gyógyulási idő 8 hét volt. A 89 műtétből 9 esetben jelentkezett komplikáció, ebből 2 tibia törés, 1 tibia és crista tibiae törés egyszerre, 5 tuberositas tibiae törés a benne található csavaroknál és egy az ideiglenes rögzítésként használt pin helyén. A komplikációkat többnyire műtéttechnikai hibaként értékelték. A korrekció mértékének elméletileg nincs maximum határa. Ezt a műtét típusát azonban 28°-os tibia plateau szög felett nem ajánlják (Petazzoni, 2010).

Az előzőekben említett szakirodalmi forrásokon kívül egyetlen részletesebb tanulmány jelent meg a témával kapcsolatban 2013-ban (Rovesti et al., 2013). Ez kutya tibia preparátumokon végzett vizsgálat volt, amely a forgatás és az osteotomia szögének a patella egyenes szalagjának tapadási helyére gyakorolt hatását vizsgálta.

Meghatároztak egy frontalis síkot (0) és a **20. ábrán** látható módon a fűrészpengét ehhez képest a megadott értékeket (frontal plane of angulation, FPA) figyelembe véve eldöntötték pozitív vagy negatív irányba. Azt találták, hogy pozitív/nagyobb FPA esetén kevesebb rotációval nagyobb elmozdulás érhető el.

Ha a tuberositas tibiae a korrekciót követően túlzottan proximalisan kerül, az meg fogja változtatni a patella pozícióját is és patella alatt okozhat (a patella magasabban helyeződik), amely a patellaficam lehetséges rizikófaktoraként írtak le. A tuberositas tibiae rotációja mediolateralis húzódáshoz vezethet a patella ín mechanizmusában, ami szintén patellaficamra hajlamosíthat. A negatív FPA-val rendelkező csoportoknál a tuberositas tibiae rotációja medialis elmozdulást eredményezett. A pozitív FPA-val rendelkező csoportoknál pedig lateralis elmozdulás jött létre. Ez a hatás potenciálisan alkalmazható medialis patellaficam kezelésére.



20. ábra: A fűrészpenge helyzete az egyes ostotomiáknál a meghatározott frontalis síkhoz képest
(forrás: Rovesti et al., 2013)

Klinikai kutatások

Az Állatorvostudományi Egyetem Sebészeti és Szemészeti Tanszékén és Klinikáján az elmúlt években a TPLO mellett elkezdtek alkalmazni a TTA-rapid módszert, illetve a cTTA módszert, módosítással az implantátum tekintetében (modified cTTA, mcTTA). Az kutatás és így az értekezés első része az első 30 eset korai tapasztalatait, illetve komplikációit vizsgálja, illetve egymással és a szakirodalomban találtakkal hasonlítja össze.

A szakirodalomban az eredeti TTA módszer tekintetében jelentős mennyiségű publikáció található a műtét komplikációról. Az egyik legnagyobb tanulmány (Costa et al., 2017) 1613 eset kapcsán vizsgálta a TTA műtét utáni major komplikációkat, amelyek az esetek 13,4 %-ában jelentkeztek. Major komplikációnak tekintették a műtét utáni fertőzéseket, a medialis meniscus postoperatív sérülését, az implantátum elégtelenséget, a postoperatív kialakuló térdkalácsficamot, illetve a különböző csonttöréseket. A TTA-rapid műtét komplikációról jelentősen kevesebb publikáció született (Samoy et al., 2015; Butterworth and Kydd, 2017, Arican et al. 2017, Dyll and Schmökel 2017, Roydev 2021) míg a cTTA műtét kapcsán komplikációk tekintetében a szerzők tudása szerint csak az eredeti leírás, illetve az általunk közölt első 16 eset leírása létezik (Petazzoni, 2010; Ipolyi et al., 2015).

A korábban említett TTA-rapid és MMT módszer mellett 2018-ban leírtak egy új módszert, amely hasonlóan az előbbi technikákhoz a tuberositas tibiae előrevitelét a cranialis cortex megtartásával valósítja meg, ez a TTA-CF (Tibial Tuberosity Advancement Technique with Cranial Implant Fixation) (Zhalniarovich et al., 2018).

Anyag és módszer

Adatok

Az adatokat az Állatorvostudományi Egyetem adatbázisából gyűjtöttük ki (Doki for Vets). Az első 30 TTA-rapid (n=30), illetve az első 30 cTTA (n=30) műtét eredményeit vizsgáltuk. Feljegyeztük a fajtát, súlyt, ivart, az érintett végtagot, illetve feltétel volt, hogy legalább 3 hónapos utókövetési adat álljon rendelkezésre.

Radiológiai vizsgálatok

A betegek térdizületéről két irányú RTG felvételt készítettünk a műtét előtt és után is. A műtét előtti felvételeken elvégeztük a preoperatív tervezést, illetve kizártuk az esetleges egyéb radiológiai elváltozással járó betegségek jelenlétét. A műtét utáni felvételeken ellenőriztük az implantátumok pozícióját, illetve a korrekció mértékét.

Aneszteziológiai protokoll

A műtéti anesztézia mindkét műtéttípusnál ugyanúgy zajlott. A műtéti előkészítés során a betegek a következő szereket kapták vénakanül behelyezése után intravénásan: 5 µg/ttkg fentanil (Fentanyl-Richter 50 µg/ml oldatos injekció), 0,5 mg/ttkg ketamin (Calypsol 500 mg/10 ml injekció). Az összes beteg részesült perioperatív antibiotikumos kezelésben, erre a célra cefazolint (Cefazolin Sandoz 1 g por oldatos injekció) használtunk 22 mg/ttkg-os adagban. Indukciós szerként 5 mg/ttkg, 1%-os vagy 2%-os propofolt (Propofol 1% or 2 % MCT/LCT Fresenius Emulsion) használtunk. A betegek a hatékony fájdalomcsillapítás érdekében a műtét előtt morfininjekciót kaptak 0,3 mg/ttkg im. adagban (Morphium-hydrochloricum Teva 10 mg/ml injekció).

A premedikációs szerek adagolását és az indukciót követően az állatokat intubáltuk. Az általános anesztézia fenntartását szevoflurán (Sevoran) és oxigén keverékével végeztük, amelyet ketamin és fentanil tartalmú cseppinfúzióval egészítettünk ki (12 ml Fentanyl-Richter 50 µg/ml oldatos injekció és 1,2 ml Calypsol 500 mg/10 ml injekció 500 ml Salsol infúzióval keverve, 3 ml/ttkg/óra sebességgel adagolva). Az állatok a műtét során folyamatosan 10 ml/ttkg/óra Salsol vagy Ringer iv. cseppinfúziót kaptak.

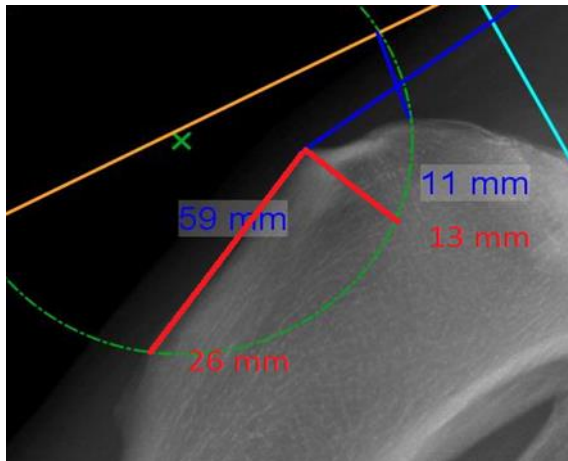
TTA-rapid csoport

A preoperatív tervezés és a műtét kivitelezése a TTA-rapid technika leírása alapján történt (Samoy et al., 2015), a TTA-rapid eszközrendszerével (Rita Leibinger Medical). Implantátumok tekintetében vegyesen használtuk a Rita Leibinger Medical és a Scinova implantátumait. Az összes műtétet egy ortopéd sebész végezte (dr. Diószegi Zoltán, kisállatgyógyász szakállatorvos), az összes műtéthez asszisztáltam, esetenként még egy asszisztens is bemosakodott, így a műtétet minden esetben 2-3 ember végezte.

A műtét előtti tervezéshez a térd 135°-ban hajlított helyzetében mediolateralis RTG felvételt készítettünk, majd a szükséges előrevitel mértékét TPSM-el (**13. ábra**), illetve CTM-el (**14. ábra**) is meghatároztuk (az eredeti leírásban CTM-et használtak), majd mindkét mérési eredmény figyelembevételével, illetve az eredeti leírásban szereplő templát használatával választottuk ki a szükséges implantátum méretét (Cadmus et al., 2014).

Az eredeti műtéti technikához képest eltértünk abban, hogy a „cleaning-up” arthroszkópiával vagy mikroarthrotomiával történt. Amennyiben egészséges meniscusokat találtunk release nem végeztünk. A műtét végén az osteotómiás résben nem használtunk hydroxil-apatite pasztát. A TTA-rapid műtét csontmodellen, illetve postoperaív RTG felvételen a **17. ábrán** látható.

Modified-cTTA (mcTTA) csoport



21. ábra: Fűrészpenge helyzetének meghatározása a preoperatív tervezés során, az anatómiai pontok figyelembevételével

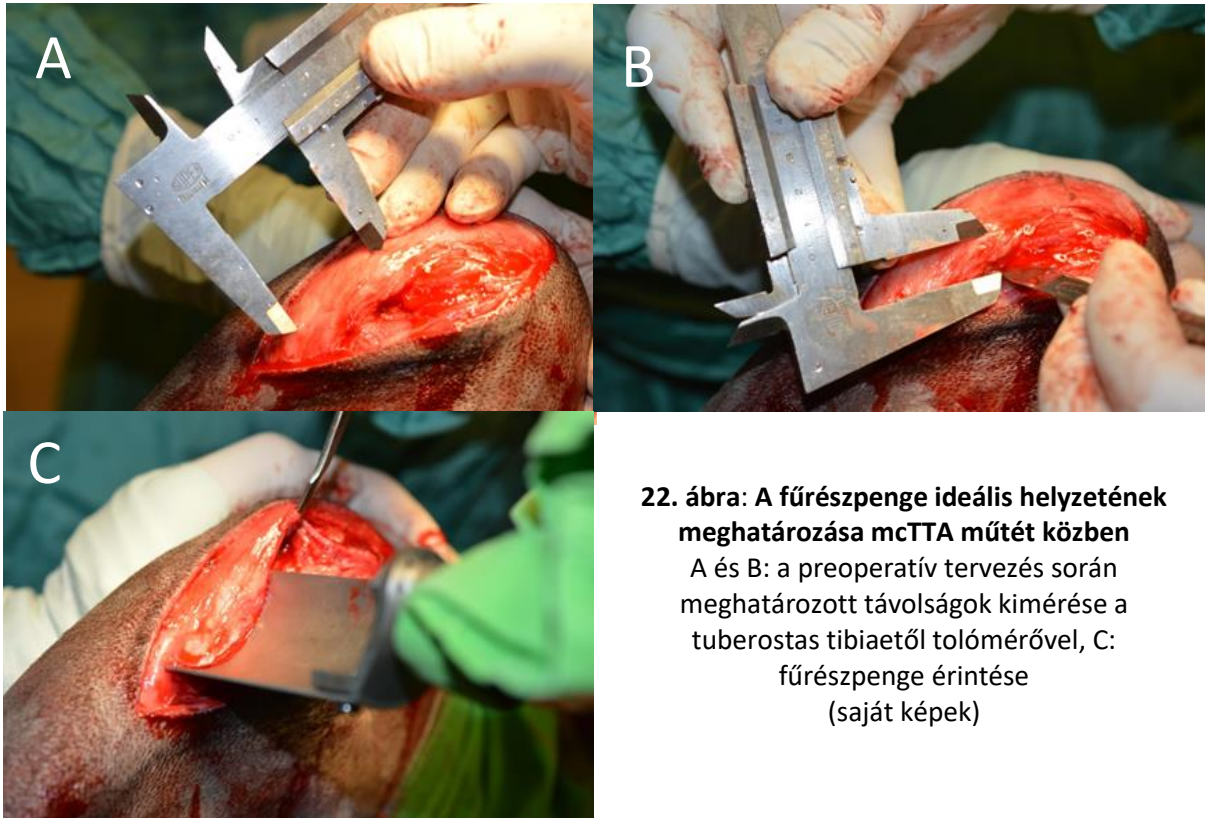
A zöld szaggatott körvonal a pengét jelképezi adott sugárral, míg a két piros szakasz a fűrészpenge tuberositas tibiaetól való távolságát jelzi (13 és 26 mm)
(saját kép)

A preoperatív tervezés során a szükséges előrevitel mértékének kiszámítása a TTA-rapid technikával műtött csoporthoz hasonlóan történt, mindkét technika segítségével meghatároztuk a szükséges korrekció mértékét. A TTA-rapiddal ellentétben ennél a technikánál egy radialis osteotómiát végzünk, a TPLO technikához kifejlesztett köríves fűrészpengét (**9. ábra**) használva, így az osteotomia és a fűrészpenge pontos meghatározásának érdekében a pengét modellező kört kell elhelyezni a műtéti tervezés során, illetve egy anatómiai ponthoz (tuberositas tibiae) viszonyítva meg kell mérni a fűrészpenge pontos pozícióját, hogy a műtét közben minél pontosabban tudjuk illeszteni a fűrészpengét (**21. ábra**). Az eredeti műtéti technika leírását tartalmazó publikáció (Petazzoni et al., 2010)

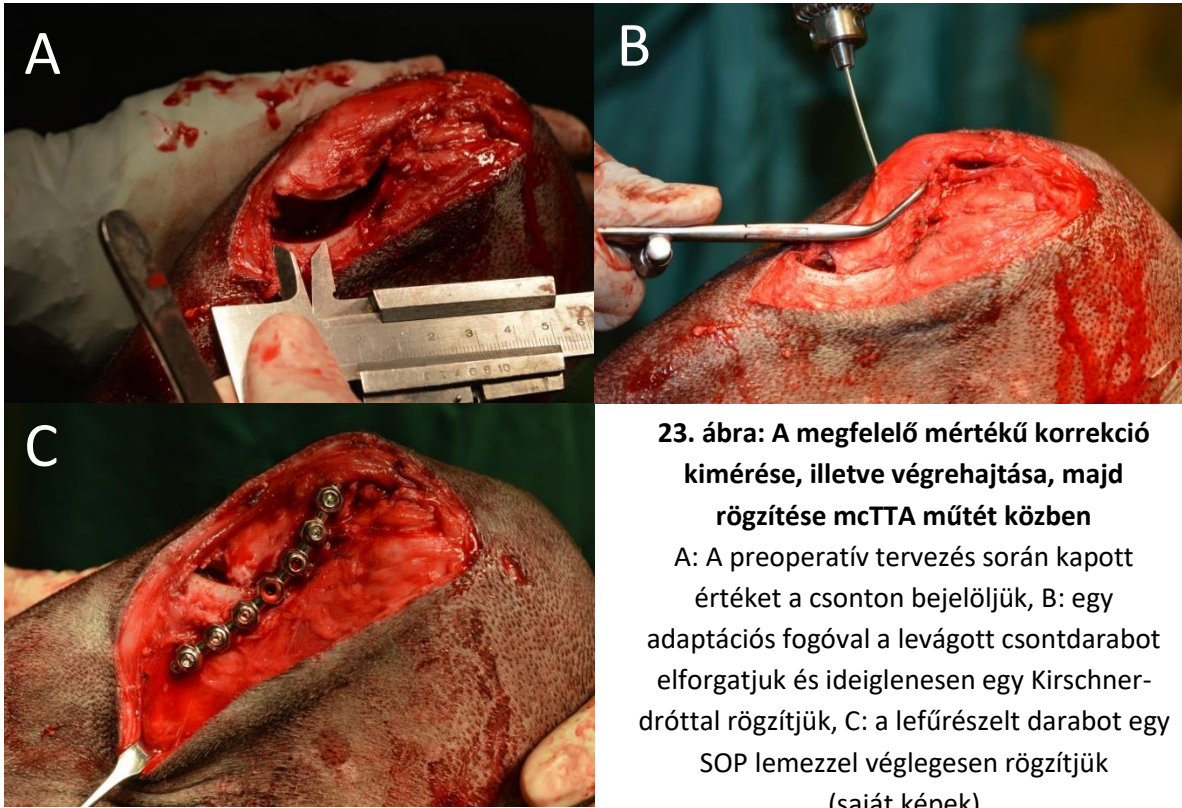
nem részletezi a preoperatív tervezés során a fűrészpenge pontos helyzetének meghatározását. Ahogy korábban említettem, egy röntgenfelvételen kerül szemléltetésre (**18. ábra**), hogy a tibia a legvékonyabb pontján a teljes szélességének 60 %-át meg kell hogy tartsa. Saját preoperatív tervezésünk során ezt figyelembe vettük, a fűrészpengét modellező kört a lehető legideálisabb helyzetben helyeztük el, a legideálisabb sugarú TPLO fűrészpengét választva.

A műtéteket minden esetben ugyanaz az ortopéd sebész végezte (dr. Ipolyi Tamás, kisállatgyógyász szakállatorvos), minden műtétben asszisztensként vettem részt, esetlegesen még egy asszisztens jelenlétében, tehát minden műtéten 2-3 ember vett részt. A műtét lépéseit az eredeti leírásnak megfelelően hajtottuk végre (Petazzoni et al., 2010), azonban az erre vonatkozó információk az eredeti közlésben hiányosak. A „cleaning-up” minden esetben microarthrotomiával történt, medialis release nem végeztünk, a sérült meniscus részeket, amennyiben voltak eltávolítottuk. A fűrészpengét a preoperatív tervezés során meghatározott pozícióba illesztettük, amelyet a tuberositas tibiaetól egy tolómérővel mérve határoztunk meg (**22. ábra**), majd a tibia axialis tengelyére merőlegesen végezhajtottuk az osteotómiát. Az osteotomia közben a csontot folyamatosan hűtöttük, hogy védjük a túlzott hőképződés káros hatásaitól és ne hátráltassuk a későbbi csontgyógyulást. A fűrészelés után a levágott darabot

egy csontadaptációs eszközzel megfogtuk és a preoperatív tervezésnek megfelelő mértékben cranioproximalis irányba elforgattuk. Az elforgatott darabot ideiglenesen egy Kirschner-dróttal rögzítettük, majd a forgatás mértékét még egyszer leellenőriztük. A végleges rögzítési mód esetünkben eltért, más fajta szögstabil lemezt választottunk a rögzítéshez, úgynevezett SOP (String Of Pearls, Medimetal Kft) lemezt. A lemez rögzítéséhez 2,7 mm-es corticalis csavarokat használtunk (Scinova Kft), ezért hívjuk az általunk végzett technikát mcTTA-nak (**23. ábra**).



22. ábra: A fűrészpenge ideális helyzetének meghatározása mcTTA műtét közben
A és B: a preoperatív tervezés során meghatározott távolságok kimérése a tuberostas tibiaetől tolómérővel, C: fűrészpenge érintése (saját képek)



23. ábra: A megfelelő mértékű korrekció kimérése, illetve végrehajtása, majd rögzítése mcTTA műtét közben

A: A preoperatív tervezés során kapott értéket a csonton bejelöljük, B: egy adaptációs fogóval a levágott csontdarabot elforgatjuk és ideiglenesen egy Kirschner-dróttal rögzítjük, C: a lefűrészelt darabot egy SOP lemezzel véglegesen rögzítjük (saját képek)

Komplikációk

Komplikációk tekintetében megkülönböztettünk intraoperatív (IO) és postoperatív (PO) komplikációkat. A komplikációkat súlyosságuk szerint is osztályoztuk. Major komplikációnak tekintettük azokat a problémákat, ahol ismételt műtéti beavatkozás vált szükségessé. Minor komplikációnak tekintettük azokat az eseteket, ahol nem volt szükség újabb műtetre, vagy csak kisebb gyógyszeres kezelést igényeltek (Costa et. al, 2017). Komplikációk tekintetében a műtéti utókövetés legalább 3 hónapig történt meg.

Postoperatív kezelés

Az összes beteg mindkét csoportban ugyanolyan postoperatív kezelésben részesült. Közvetlenül a műtétet követően módosított Robert-Jones kötést helyeztünk fel az operált végtagra, amely a műtétet követő második napon került eltávolításra a tulajdonos által. A műtéti sebet steril tamponnal és Omnifixxel (Hartmann) fedtük, ez szintén a 2. napon került eltávolításra. A varratszedés 10-14 nap múlva történt. A műtétet követő 7-10 napban meloxicam (0.1 mg/kg) hatóanyagú gyógyszert kaptak, illetve ízületvédő készítményt (Synoquin EFA) legalább a műtét utáni 1. hónapban. Postoperatív antibiotikum adására csak szükség esetén került sor. Nyolc hét mozgáskorlátozást írtunk elő. Állatorvosi vizsgálatra varratszedéskor, illetve a műtét utáni 3. hónapban került sor, illetve panasz esetén.

Statisztikai analízis

Eredményeink alapján a komplikációk arányainak összehasonlítására Fisher exact tesztet használtunk. Nem vettük figyelembe az egyéb tényezőket mint például életkor, testtömeg, ivar és fajta, mert közel hasonló átlagértékek és arányok jellemezték a két csoport egyedeit.

Eredmények

TTA-rapid csoport

30 műtétet végeztünk (n=30), 29 kutyán (n=29). Egy kutyának 3 hónapos különbséggel mindkét térdét megoperáltuk. A betegek között 14 kan, 6 szuka, 3 ivartalanított kan és 6 ivartalanított szuka kutya volt. A műtétek során 15 jobb és 15 bal térdízületet operáltunk meg a TTA-rapid technikával. A betegek átlagos életkora $5,2 \pm 2,83$ év volt, míg a betegek átlagos testtömege $34,4 \pm 10,98$ kg. Fajták tekintetében 5 keverék kutya, 3 staffordshire terrier, 2 magyar vizsla, 2 német juhászkutya, 2 labrador retriever, 2 berni pászorkutya, 2 boxer, 2

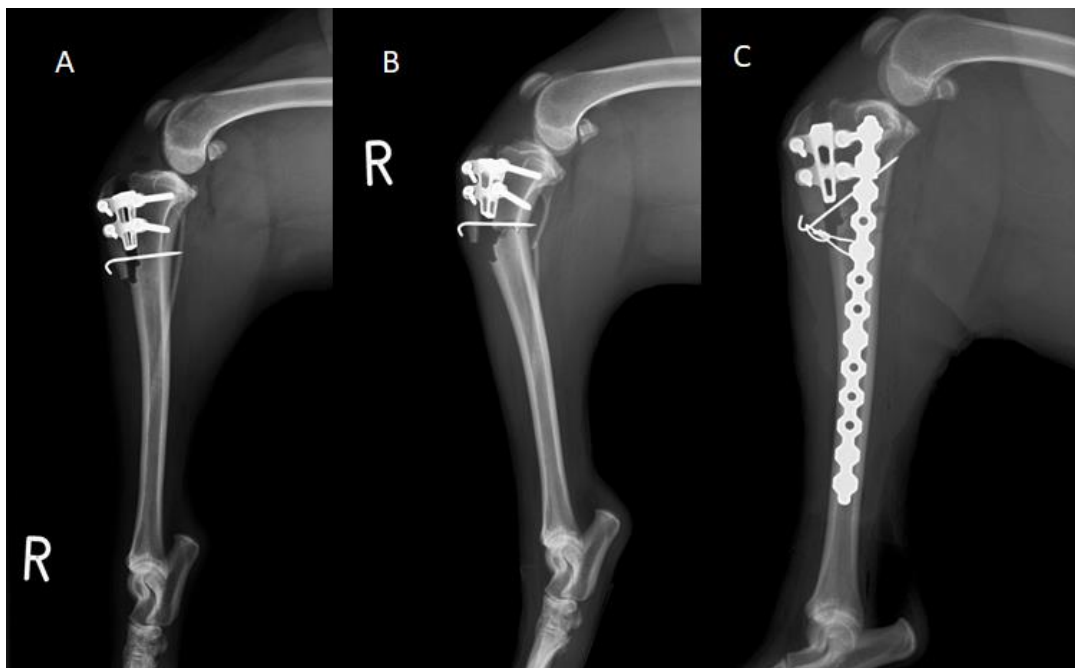
bordói dog, 2 óriás schnauzer, 1 border collie, 1 tibeti terrier, 1 jugoszláv farkasölő, 1 amerikai bully, 1 amerikai bulldog, 1 dobermann, 1 bullmasztiff kutya térdét operáltuk.

Ennél a csoportnál az adatokat tekintve nem került feljegyzésre, hogy a szakadás részleges vagy teljes, azonban a meniscus sérülések minden esetben feljegyzésre kerültek. 19 esetben a meniscusok épnek bizonyultak (63,3 %), míg 11 esetben (36,7 %) sérült a medialis meniscus hátsó szarva. Lateralis meniscus sérülést nem találtunk.

A műtéthez a távtartók tekintetében 9 db 6 mm-es távtartót és 21 db 9 mm-es távtartót helyeztünk be a preoperatív tervezésnek megfelelően.

Komplikációk tekintetében intraoperatív komplikáció 7 esetben következett be (23,3 %). Ezekben az esetekben a crista tibiae a cranialis irányú hajlítás közben letört. Egy esetben (3,3 %) a crista törését plusz implantátum behelyezésével stabilizáltuk (Kirschner-drót).

Postoperatív komplikációkat tekintve 4 esetben (13,4 %) lépett fel major komplikáció. Ebből 2 esetben (6,7 %) postoperatív tibia törés következett be. Ebből az egyik eset az volt, ahol intraoperatív komplikáció miatt Kirschner drótot használtunk (**24. ábra**). A törés a műtétet követő 2. héten következett be. Mindkét tibia törés a Maquet-lyuk szintjében, haránt irányú tibia törés volt. A tibia töréseket lemezes oszteosztézissel stabilizáltuk, a 3. ábrán látható esetben ezt cerclage-dróttal és K-dróttal egészítettük ki. Mindkét eset később komplikációmentesen gyógyult. További 2 esetben (6,7 %) postoperatív meniscus sérülés következett be. A sérült meniscus részeket ismételt mikroarthrotomia útján távolítottuk el.



24. ábra: Postoperatív major komplikáció TTA-rapid műtét esetén

A. Postoperatív RTG felvétel, B. A tibia haránttöréséről készült RTG felvétel a műtétet követő 2. héten, C. SOP (String of Pearls) lemezzel, cerclage dróttal és K-dróttal rögzített reoperáció utáni RTG felvétel (saját képek, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívuma)

Postoperatív minor komplikáció 5 esetben (16,7 %) következett be. Ebből két esetben (6,7 %) a távtartókat tartó csavarok törtek el. Ez a két eset megegyezik a postoperatív meniscus sérülést szenvedett betegekkel, illetve ebből az egyik esetben intraoperatív komplikációként crista tibiae törés is bekövetkezett. A további 3 esetből az egyikben 1 hónappal a műtétet követően jelentős mértékű sántaság és fájdalom jelentkezett, amely egy hetes nem-szteroid típusú fájdalomcsillapító kúrára megszűnt. Egy esetben 14 nappal a műtétet követően duzzanat alakult ki a műtéti területen, kontroll RTG felvételt készítettünk, amelyen nem volt eltérés. A duzzanat 1-2 napon belül rendeződött, antibiotikum adására nem volt szükség. Egy esetben a beteg 3 hónappal a műtétet követően a műtéti területet elkezdte nyalogatni, seb keletkezett, amely gallérvisel és helyi kezelés hatására megszűnt. A komplikációk megoszlása az **1-es táblázatban** látható.

mcTTA csoport

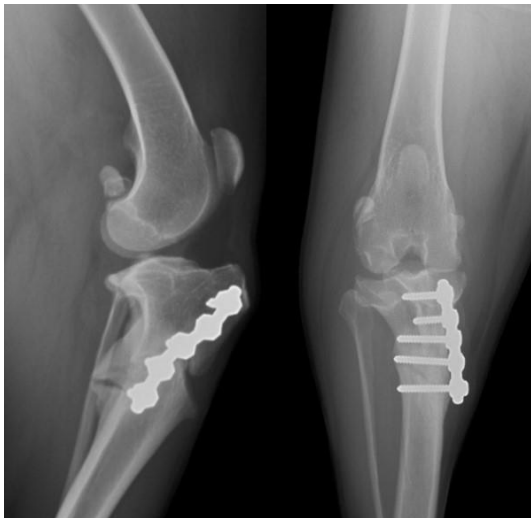
30 db cTTA műtétet (n=30) végeztünk 27 kutyán (n=27), 3 betegnek fél éves különbséggel a másik hátulsó végtagot is megoperáltuk. A betegek között az ivareloszlás a következőképpen alakult: 8 kan, 9 szuka, 3 ivartalanított kan, 7 ivartalanított szuka. 14 jobb és 16 bal térdízület került műtéti ellátásra. A betegek átlagéletkora $4,77 \pm 2,38$ év volt. A betegek átlagos testtömege $32,17 \pm 11,84$ kg volt. Fajták tekintetében 5 keverék kutya, 4 staffordshire terrier, 3 cane corso, 3 beagle, 2 középázsiai juhász, 1 francia bulldog, 1 amerikai bulldog, 1 angol bulldog, 1 berni pászor, 1 boxer, 1 dobermann, 1 labrador retriever, 1 golden retriever, 1 magyar vizsla és 1 argentin dog került műtéti ellátásra.

A műtétek során a mikroarthrotomiát követően 23 esetben (76,7 %) teljes EKSZ szakadást, 7 esetben (23,3 %) részleges EKSZ szakadást találtunk. A meniscusok 13 esetben (43,4 %) épnek bizonyultak, 15 esetben (50 %) a medialis meniscus hátsó szarva sérült, 1 esetben (3,3 %) a lateralis meniscus sérült, 1 esetben (3,3 %) pedig nem jegyeztük fel ezt az információt.

Komplikációk tekintetében intraoperatív komplikáció nem jelentkezett.

Postoperatív major komplikáció 1 esetben (3,3 %) adódott. A műtétet követő 3. hónapban postoperatív meniscus sérülés jelentkezett. A sérült részt ismételt mikroarthrotomia keretében eltávolítottuk.

Postoperatív minor komplikáció 6 esetben (20%) jelentkezett. 1 esetben (3,3 %) a műtéti területen az első 14 napban seroma alakult ki. Mikrobiológiai mintavétel történt a váladékból, amely negatív eredménnyel zárult. 1 esetben a beteg szétnyalta a sebét, ez lokális kezelésre gyógyult. Ugyanezen beteg a műtétet követő időszakban kevésbé terhelte operált lábát a tulajdonos elmondása alapján. A beteg fizioterápiára járt. A 3 hónapos postoperatív



25. ábra: Három hónapos postoperatív mediolateralis és caudocranialis RTG felvétel

A tibia haránttörése utáni callusképződés látható, mcTTA műtét után (saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum)

felvételen tibia törés nyomai láthatóak, amely magától gyógyult callus képződéssel, dislocatio nélkül. A RTG felvétel a **25. ábrán** látható. 3 esetben (10 %) lépett fel a műtétet követően kisebb mértékű sántaság, visszaesés a javulásban. 1 (3,3 %) esetben a műtétet követő első hónapban múlva, 2 esetben (6,7 %) a műtétet követő 2. hónapban. Ezeket a betegeket fizioterápiára küldtük, aminek hatására a betegek állapota javult. 1 esetben (3,3 %) a műtétet követő 2. hónapban a műtéti területen váladékozás alakult ki. A váladékból mikrobiológiai mintavétel történt, amelyből *Staphylococcus pseudintermedius* baktérium tenyésztett ki, amely többek között érzékeny volt amoxicillin-klavulánsavra. 1 hetes antibiotikumos kezelést követően a váladékozás megszűnt. A komplikációk megoszlása az **1-es táblázatban** látható összefoglalva.

1. táblázat: A TTA-rapid és a mcTTA intraoperatív, postoperatív major és postoperatív minor komplikációinak megoszlása 30-30 műtétet követően.

	TTA-RAPID	MCTTA
INTRAOPERATÍV KOMPLIKÁCIÓK	7 (23,3 %)	0 (0 %)
CRISTA TIBIAE TÖRÉSE	7 (23,3 %)	0 (0 %)
POSTOPERATÍV MAJOR KOMPLIKÁCIÓK	4 (13,4 %)	1 (3,3 %)
TIBIA TÖRÉS	2 (6,7 %)	0 (0 %)
PO MENISCUS SÉRÜLÉS	2 (6,7 %)	1 (3,3 %)
POSTOPERATÍV MINOR KOMPLIKÁCIÓK	5 (16,7 %)	6 (20 %)

TTA-rapid és mcTTA összehasonlítása

A Fisher egzakt teszt alapján elmondható, hogy a saját eredményeink alapján, az intraoperatív szövődmények számának tekintetében szignifikáns a különbség a két módszer között ($p = 0,0105$). Postoperatív major komplikációk ($p = 0,3533$) és postoperatív minor komplikációk ($p > 0,9999$) számának tekintetében nincs szignifikáns különbség a két módszer között (**2. táblázat**).

2. táblázat: A TTA-rapid és az mcTTA műtétek komplikációnak összehasonlítása, csoportonként 30 esetet vizsgálva

	INTRAOPERATÍV KOMPLIKÁCIÓK	POSTOPERATÍV MAJOR KOMPLIKÁCIÓK	POSTOPERATÍV MINOR KOMPLIKÁCIÓK
TTA-RAPID (N=30)	7/30	4/30	5/30
MCTTA (N=30)	0/30	1/30	6/30
P ÉRTÉK	<i>p = 0.0105</i>	P = 0.3533	p > 0.9999

Megbeszélés

A TTA-rapid, illetve a cTTA technika az eredeti TTA technika (Montavon et al., 2002) továbbfejlesztett változata. Az új technikák kifejlesztésekor az eredeti TTA módszer bonyolultságának, implantátum igényének csökkentése volt a cél (Petazzoni, 2010; Samoy et al., 2015.). Az eredeti TTA technikáról számos tanulmányt készítettek, amely a komplikációkat írja le, azonban TTA-rapid, illetve cTTA technika eredményéről kevés tudományos közlés létezik.

Az eredeti TTA technika kapcsán 19-59 %-os teljes komplikációs rátát írtak le a korábbi tanulmányok (Hoffmann et al., 2006; Lafaver et al., 2007; Stein and Schmoekel 2008; Wolf et al., 2012). A major komplikációs ráta 11,4-14 % volt (Lafaver et al., 2007; Stein and Schmoekel 2008; Wolf et al., 2012, Costa et al., 2017). A legnagyobb tanulmány, amely a major komplikációkat vizsgálta 1613 kutyán végzett TTA műtétek alapján 13,4 %-os major komplikációs rátát írt le (Costa et al., 2017).

A TTA-rapid csoport átlagéletkora $5,2 \pm 2,83$ év volt, amely egyezik a más tanulmányokban talált átlagéletkorral. Az átlagos testsúly $34,4 \pm 10,98$ kg, amely kissé több, mint az egyéb tanulmányokban szereplő átlag testúly. (Samoy et al., 2015; Butterwoth and Kydd, 2017).

A TTA-rapid technika eredményei közül az eredeti leírás 34 %-os teljes komplikációs rátát ír le 50 eset alapján, csak a postoperatív komplikációkat tekintve (Samoy et al., 2015). Két kisebb tanulmány is létezik, az egyik 10 eset alapján 40 %-os teljes komplikációs rátát ír le (Roydev and Goranov, 2021), míg a másik 17 eset alapján 42,6 %-os teljes komplikációs rátát említ (Arican et al., 2017). Egy tanulmány csak kis fajtákon, azaz 15 kg alatti kutyákon végzett TTA-rapid műtét eredményeit elemzi, 48 elvégzett műtét után az összkomplikációs ráta 25 % volt (Dyall and Schmökel, 2017). A major komplikációs ráta 4-17,6 % között mozog, míg a minor komplikációs ráta 2,1-30 % között (Samoy et al., 2015; Butterwoth and Kydd, 2017, Arican et al., 2017; Dyall and Schmökel, 2017; Roydev and Goranov, 2021). A mi

eredményeink intraoperatív komplikációkkal együtt 53,3 %-os összkomplikációs rátát mutatnak, intraoperatív komplikációk nélkül 30 %, ez a szám az eredeti leírásban szereplő adattal közel egyezik. A mi esetünkben a postoperatív major komplikációs ráta 13,4 % volt, míg a postoperatív minor komplikációs ráta 16,7 % volt. Ezek az értékek a szakirodalomban talált adatokhoz hasonlítanak. Intraoperatív komplikáció saját műtéteink során 7 esetben, azaz 23,3 %-ban lépett fel, amely kissé magasabb, mint a többi tanulmányban leírt. A TTA-rapid csoport és a szakirodalomban talált adatok összehasonlítása a **3-as számú táblázatban** látható.

3. táblázat: TTA-rapid műtétek utáni komplikációk aránya a szakirodalomban található adatok alapján, illetve saját kutatásunk alapján

	SAMOY ET AL. (2015)	BUTTERWOT H AND KYDD (2017)	ARICAN ET AL. (2017)	DYALL AND SCHMÖKEL (2017)	ROYDEV AND GORANOV (2021)	SAJÁT ADATOK
ÖSSZES ESET	50	152	17	48	10	30
INTRAOPERATÍV KOMPLIKÁCIÓK	6 (12 %)	3 (2 %)	Nincs pontos információ	4 (8,3 %)	1 (10 %)	7 (23,3 %)
POSTOPERATÍV MAJOR KOMPLIKÁCIÓK	2 (4 %)	11 (7 %)	4 (17,6 %)	7 (14,6 %)	1 (10 %)	4 (13,4 %)
POSTOPERATÍV MINOR KOMPLIKÁCIÓK	15 (30 %)	Nincs pontos információ	Nincs pontos információ	1 (2,1 %)	2 (20 %)	5 (16,7 %)

Más műtéti technikáknál, amelyek hasonlóak a TTA-rapid módszerhez, közel azonos komplikációs rátát találtak. Egy nagyobb tanulmányban, amely az MMT technikát vizsgálta, az általunk is intraoperatív komplikációként leírt crista tibiae törés 3,4 %-os arányban fordult elő, ez 6 esetet jelentett a 174-ből. A 174 esetből 148 esetben álltak rendelkezésre az utókövetéshez szükséges RTG felvételek, ahol 14,2 %-ban (21/148) fordult elő postoperatív törés a tuberositas tibiae, a crista tibiae és a tibia testének területén (Lefebvre et al., 2018). Mivel 26 esetben (14,9 %) hiányoztak a RTG felvételek, a postoperatív törések tekintetében a valódi komplikációs ráta nagyobb is lehet. A leírt komplikációs ráta hasonló az általunk találtakhoz. Egy másik tanulmány az MMT módszert tekintve magasabb arányban számol be intraoperatív, illetve postoperatív major komplikációkról. 84 műtét elvégzése után 31 %-os intraoperatív és 40,5 %-os major postoperatív komplikációs rátát ír le, a minor postoperatív komplikációk a többi tanulmányhoz hasonló arányban következtek be, 10,7 %-ban (Ramirez et. al., 2015).

Az mcTTA-műtési technikával operált csoportban az átlagéletkor $4,77 \pm 2,38$ év volt. Ez közel megegyezik a TTA-rapiddal operált betegek átlagéletkorával, továbbá a cTTA-ról létező egyetlen tanulmányban szereplő adattal, amely 5,5 év volt (Petazzoni, 2010). A betegek átlagos testtömege $32,17 \pm 11,84$ kg, amely szintén hasonlít a TTA-rapiddal operált csoport átlagos testtömegéhez és a Petazzoni által 2010-ben leírt értékhez, amely 32 kg.

Az eredeti leírásban 9 komplikációt észleltek 89 esetből, ez 10 %-os komplikációs ráta, azonban ezek az esetek mind major komplikációk voltak, amelyek műtési revíziót igényeltek. Két esetben tibia törést, 1 esetben tibia és crista tibiae törés jelentkezett. A többi 6 esetben a törések az implantátumok körül jelentkeztek, 5 esetben a csavarok körül, 1 esetben a tűződrót körül. A mi major komplikációs rátánk az mcTTA csoportban 3,3 %-os volt, amely 30-ból 1 esetet jelentett. Ez a komplikáció az eredeti leírásban is megtalálható tibia törés volt, amely csak a 3 hónapos postoperatív RTG felvételen volt látható (**25. ábra**) és nem igényelt műtési revíziót. Az implantátumokkal kapcsolatosan, azok környékén esetünkben nem jelentkeztek törések. Az eredeti leírásban Fixin locking plate system (Intrauma) használtak, míg mi SOP lemezt alkalmaztunk, corticalis csavarokkal (Medimetal, Scinova) (Petazzoni, 2010). A különböző implantátumok eltérő komplikációkat okozhatnak, ez biomechanikai vizsgálatokat igényel, nagyobb esetszámban. 2014-ben egy biomérnöki konferencián (40th Annual Northeast Bioengineering Conference) bemutattak egy tanulmányt, amely optimális lemez és csavarok tervezését és vizsgálatát vette célba a cTTA műtétéhez, azonban ekkor a tanulmány még csak előtanulmány formájában volt kész, jelenleg tudomásom szerint nincs információ a kutatás végleges eredményeiről (Wright et al., 2014).

Saját vizsgálataink alapján elmondhatjuk, hogy a TTA-rapid és a mcTTA-műtét komplikációk tekintetében szignifikáns különbséget mutat intraoperatív komplikációk tekintetében ($p = 0,0105$). TTA-rapid műtét esetében 7 (23,3 %) esetről beszélhetünk a 30-ból, míg a mcTTA műtét esetében ez 0 (0 %) esetet jelentett. A különbség a műtési technika eltéréséből adódik, TTA-rapid esetén ugyanis mind a 7 intraoperatív szövődmény a crista tibiae letörését jelentette, amely nem tervezett. cTTA vagy mcTTA műtét esetében ilyen jellegű szövődményekre nem számíthatunk, hiszen a teljes tuberostias tibiae es crista tibiae lefűrészelésre kerül.

Postoperatív major komplikációk tekintetében a különbség nem volt szignifikáns a két módszer között ($p = 0,3533$). Azonban míg a TTA-rapid esetében 2 esetben (6,7 %) postoperatív tibia törés alakult ki, amely műtési revíziót igényelt, a mcTTA műtét esetében nem történt ilyen komplikáció. További kutatásokban érdemes lenne megvizsgálni, van-e különbség a két módszer között e tekintetben, további kutatásainkat ezirányban folytattuk. Postoperatív meniscus sérülések tekintetében a TTA-rapid esetében 2 esetben (6,7 %) jelentkezett, míg a mcTTA műtét esetében 1 esetben (3,3 %) jelentkezett. TTA-rapid esetében ez az eredmény a szakirodalmakban találtakhoz hasonló, például 2017-ben Butterworth és Kydd által publikált

tanulmányban 5,9 % (9/152), szintén 2017-ben publikált Dyall és Schmökel tanulmányban 4,2 % (2/48). A cTTA műtétről ilyen tekintetben nem áll rendelkezésre adat, érdemes lenne hosszabb távú utókövető tanulmányokból eredményeket gyűjteni, ezért egy hosszabb távú utókövető tanulmány készítése a céljaink között szerepel.

Postoperatív minor komplikációk tekintetében nem találtunk szignifikáns különbséget a két technika között ($p > 0,9999$). A TTA-rapid csoportban 5 (16,7 %), míg a mcTTA csoportban 6 (20 %) minor komplikáció alakult ki.

Tanulmányunk limitáló tényezője a kis esetszám. A cTTA módszerről kiterjedtebb kutatások szükségesek, illetve mindkét módszerről hosszú távú utókövetés is szükséges lenne. A komplikációk tekintetében javasolt lenne egyéb tanulmányokat készíteni, ahol egyéb tényezők befolyásoló hatását is vizsgáljuk, pl. életkor, ivar.

Vizsgálataink alapján elmondható, hogy komplikációk tekintetében jelentős különbséget csak az intraoperatív komplikációk tekintetében találtunk a két technika között. Az általunk kapott adatok intraoperatív és postoperatív komplikációk terén is egyeznek a szakirodalomban fellelhető eredményekkel. Elmondható, hogy a komplikációs ráták mindkét csoport esetében alacsonyak, így mindkét módszer biztonsággal alkalmazható.

Biomechanikai előtanulmány

A klinikai kutatások során azt láthattuk, hogy a szakirodalomban leírtak és saját vizsgálataink alapján is a TTA és TTA-rapid műtétek kapcsán a nagyobb tanulmányokban minden esetben jelentkezett a tibia törés, mint postoperatív major komplikáció (Butterworth and Kydd, 2017; Dyll and Schmökel 2017; Costa et al., 2017). Esetünkben is a fentebb leírtaknak megfelelően a 30 TTA-rapid esetből 2 esetben a tibia törés műtéti revíziót igénylő formában jelentkezett. A mcTTA esetében az 1 tibia törés, ami jelentkezett, nem igényelt műtéti revíziót, valószínűsíthetően nem komplett törés volt, amely csak a 3 hónapos postoperatív felvételen került felfedezésre. Az eredeti cTTA leírásban 89 esetből 2 tibia testét érintő törés jelentkezett (Petazzoni, 2010). Biomechanikai kutatásunkban erre kerestük a választ, hogy a két műtéti technika, a TTA-rapid és a mcTTA között van-e szignifikáns különbség ezt a postoperatív major komplikációt tekintve, a két műtéti technika mennyire gyengíti meg a tibia szerkezetét. A biomechanikai vizsgálatok előtt előtanulmányt készítettünk. Az előtanulmány készítésekor még terveztük a TPLO műtéttel kapcsolatos biomechanikai vizsgálatokat is és összehasonlítását a TTA-rapid és a mcTTA műtét kapcsán, de a végleges kísérlet kapcsán ez már nem kerül tárgyalásra, azonban egy másik tanulmány alapját képezheti.

A klinikai tanulmány befejeztével több TTA-rapid és mcTTA műtétet is végrehajtottunk, amelynek kapcsán a következő adatokat kaptuk a tibia töréses komplikációk tekintetében: az első 100 TTA-rapid műtétből 3 db (3 %) haránt tibia törés lépett fel. 66 mcTTA műtétet is elvégeztünk, amelyből 1 esetben lépett fel haránt tibia törés (0,015 %). A szakirodalom szerint a TTA, illetve a TTA-rapid esetén ez a szám 0,01-4,2 % (Butterworth and Kydd, 2017; Dyll and Schmökel 2017; Costa et al., 2017).

Saját adataink alapján, illetve a szakirodalmi adatok alapján a hipotézisünk a kutatás folyamán, hogy a cTTA/mcTTA műtét biomechanikailag kevésbé gyengíti meg a tibia szerkezetét, mint a TTA-rapid műtét.

Az előtanulmány során natív tibiák töréstesztjét végeztük el az alapértékek meghatározása végett, illetve olyan tibiák töréstesztjét, amelyről a tuberositas tibiae, illetve a crista tibiae osteotomizáltuk, az eredeti TTA műtétnél megfelelően, továbbá TTA-rapid műtéten átesett tibiákét. A szerzők jelenlegi tudása szerint, nem létezik a kutya tibia alap biomechanikai tulajdonságait leíró tudományos közlés.

A fellelhető tudományos közlések, amelyek biomechanikai vizsgálatokon alapulnak és kutyák csontjain készültek többnyire különböző implantátumok tesztelésére, illetve törésgyógyulás vizsgálatára irányulnak. Egy kutatócsoporton belül több TTA típusú műtétet kapcsolódó biomechanikai vizsgálatot is végeztek, azonban mindegyik a tuberositas tibiae- illetve crista tibiae stabilitását vizsgálta. Az első, 2010-es tanulmányban TTA műtéteket

végeztek 32 és 38 kg közötti kutyák tibiáján, 3 csoportot létrehozva. Az első csoportban TTA-rapid szerű műtétet végezve, a tuberositas tibiae, illetve a crista tibiae nem választották le és csak a távtartó került behelyezésre, illetve egy nyolcas alakú feszítő dróthurok, a második csoportban ugyanígy meghagyták a cranialis cortex kapcsolatát, de csak a távtartó került behelyezésre, míg a harmadik csoportban teljesen leválasztották a tuberositas tibiae, illetve a crista tibiae és egy 8-as alakú feszítő dróthurokkal stabilizálták azt. Ezután a patellán keresztül egyirányú terhelésnek vetették alá az osteotomizált részt és ennek stabilitását vizsgálták a tibiához viszonyítva (Etchepareborde et al., 2010). Ugyanezen kutatócsoport másik cikkben az MMT módszer kapcsán, a distalis corticalis híd terhelhetőségét vizsgálta különböző mértékű előrevitel esetében (Brunel et al., 2013). Következő, 2014-es tanulmányukban az MMT módszerhez használható 5 fajta implantátumot hasonlítottak össze a modelleket kompressziós terhelésnek, illetve ciklikus terhelésnek kitéve (Etchepareborde et al., 2014).

Anyag és módszer

Kísérleti elrendezés

A cadaver tanulmányhoz más, a tanulmányhoz nem kapcsolódó okból elaltatott, illetve elhullott, hat 15-35 kg-os kutya jobb (n=6) és bal (n=6) tibiáját használtuk, tehát összesen 12 darab tibiát. A csontokról minden lágyszöveti képletet eltávolítottunk. Ezután craniocaudalis és mediolateralis röntgenfelvételeket készítettünk a csontokról, hogy a csontszerkezetet érintő elváltozásokat kizárjuk. Ezután a csontokat 70 %-os etil-alkohol oldatba áztattuk. A tibiákat három csoportra osztottuk. Az 1-es csoport a natív tibiák csoportja (n=4), a 2-es csoport a tuberositas tibiae és a crista tibiae osteotomiáján átesett csoport (n=4) (**26. ábra**), a 3-as csoport pedig a TTA-rapid műtéten átesett csoport (n=4) (**27. ábra**). A csoportba sorolásnál figyeltünk arra, hogy az egy állatból származó jobb és bal oldali tibiák külön-külön csoportba kerüljenek, ezzel segítve a vizsgálat standardizálását.



26. ábra: Kutya tibia tuberositas tibiae és crista tibiae osteotomia után
(saját kép)



27. ábra: Kutya tibia TTA-rapid műtét után
(saját kép)

A minták előkészítése

Az előkészítés előtt a mintákat eltávolítottuk a 70 %-os etil-alkohol oldatból, majd egy éjszakán keresztül száradni hagytuk. Ezután az 1-es csoporton nem végeztünk módosítást, a 2-es csoportban lévő tibiákon végrehajtottuk a tuberositas tibiae, illetve a crista tibiae osteotomiát, a 3-as csoporton pedig TTA-rapid műtétet végeztünk, mindegyik tibiába 9 mm-es távtartó került. A távtartóhoz szükséges furatokat 2 mm-es fúróhegygel fúrtuk és 2,7 mm-es corticalis csavarokkal rögzítettük (Scinova). A csontokon történő módosításokat minden esetben én végeztem. A módosítások végrehajtása után a csontok distalis 1/3-át polimetilmetakrilát (PMMA; Demotec, Demotec 90) cementtel egy vascsőbe rögzítettük. Ezután a proximális részt alumíniumból készült tálkába, epoxi öntőgyantával (Novia, WWA+WWBHT) fixáltuk, úgy, hogy csak a tibia plató, illetve a tibia condylusai kerüljenek a gyantába (**28. ábra**).



28. ábra: Kutya tibia proximalisan epoxi gyantába fogatva, distalisan pedig PMMA cementbe ágyazva
(saját kép)

Mechanikai tesztelés

Az előkészített mintákat statikus axialis kompresszióknak vetettük alá. A mechanikai tesztek a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimertechnikai Tanszékén és Biomechanikai Kutatólaboratóriumban végeztük ZWICK Z020-as szakítógéppel, a tesztek minden esetben a Kutatólaboratórium dolgozók hajtották végre (Faragó Dénes, Dr. Szabó Gábor). Az axialis kompressziót csonttörésig vizsgáltuk, az adatokat erő-elmozdulás görbén ábrázoltuk. A csonttörést az első nagyobb esésként definiáltuk az erő-elmozdulás görbén. Az erő, amelyenél ez bekövetkezett, a maximális erőhatás (F_{max}). Az előterhelés 1 N erővel történt, az előterhelési sebesség pedig 100 mm/min volt, a tesztelési sebesség pedig 50 mm/min volt.

Eredmények

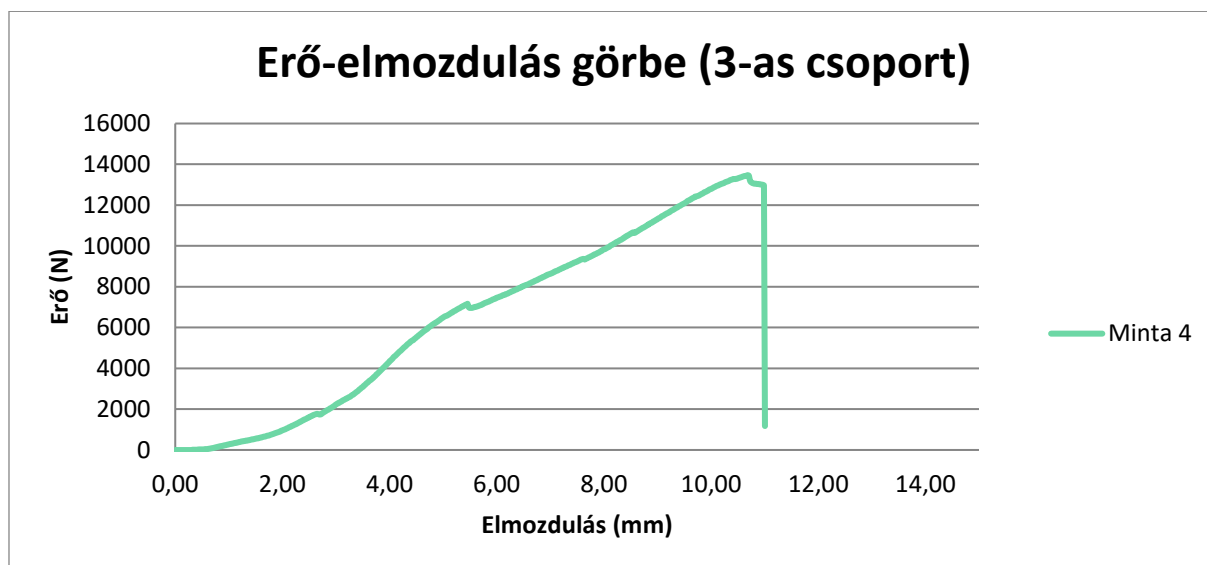
Az első csoportban az összes mintából ($n=4$) két minta ($n=2$) esetében a mérést meg kellett ismételni, a csont befogatási technikájának hibája miatt. Ezekben az esetekben a minta alja és teteje nem volt egymással teljesen párhuzamos, ezért a minta kicsúszott oldalra. Az F_{max} átlagosan $8193,25 \pm 2082,84$ N volt. A kapott értékek mediánja 8444,56 N.

A második csoportban mind a négy mintánál elsőre sikeresen elvégeztünk a tesztet. Az F_{max} átlaga $6868,58 \pm 1950,44$ N. A kapott adatok mediánja 7153,51 N.

A harmadik csoportban szintén a négyből két mintánál meg kellett ismételnünk a mérést, a csont befogatásának hibája miatt. Az adatok átlaga $7169,71 \pm 4450,39$. Az értékek mediánja $5593,78$ N. Az adatok összefoglalása az **4. számú táblázatban** látható. Egy minta erő-elmozdulás görbéjét a 3-as csoportból a **29-es ábra** szemlélteti.

4. táblázat: Előtanulmány teszteredményei: F_{max} értékek az egyes minták esetén, átlag, szórás és medián értékek. Az F_{max} értéket az erő-elmozdulás görbén való első nagyobb esésként definiáltuk. A *-al jelölt értékek, azokat a teszteredményeket jelölik, ahol a minta befogatási problémája miatt ismételt tesztet kellett végezni.

	1-ES CSOPORT	2-ES CSOPORT	3-AS CSOPORT
1. minta	8470,32 N	4342,43 N	4038,92 N*
2. minta	8418,79 N	7875,20 N	4020,78 N
3. minta	10467,87 N*	6431,81 N	7148,64 N
4. minta	5416,00 N*	8824,88 N	13470,49 N*
Átlag \pm szórás	8193,25 \pm 2082,84N	6868,58 \pm 1950,44 N	7169,71 \pm 4450,39 N
Medián	8444,56 N	7153,51 N	5593,78 N



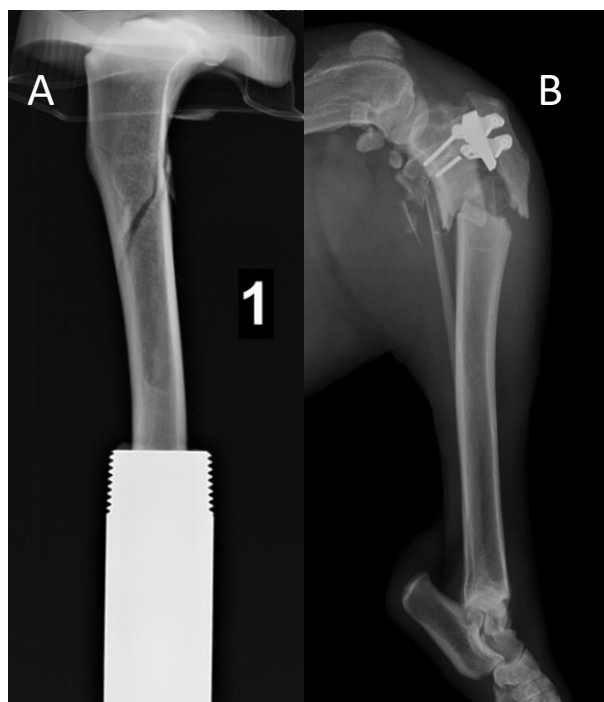
29. ábra: Az 3-as csoport (TTA-rapid) 4-es mintájának erő-elmozdulás görbéje
 F_{max} értéke: $13470,49$ N

Megbeszélés

Az előtanulmány célja a 15 és 35 kg-os kutya tibia töréséhez szükséges F_{\max} érték meghatározása, a töréstesztekhez használt gép megismerése, illetve a töréstesztek elvégzéséhez szükséges helyes befogatási módszer meghatározása volt.

A szakirodalomban leírtak alapján a minták előkészítése során két tárolási módszert alkalmazhatunk, amely nem befolyásolja a csontok biomechanikai tulajdonságát. Az egyik a fagyasztásos módszer, a másik az alkoholos tárolási módszer. Egy 2006-os tanulmányban patkány femurokon végeztek kísérletet, amely alapján megállapítható, hogy a frissen preparált, fagyasztott és alkoholban tárolt minták között nincs szignifikáns különbség biomechanikai tulajdonságok tekintetében, azonban 1 hónap tárolás után mindkét módszer befolyással lehet a kísérletek eredményére (Beaupied et al., 2006). Esetünkben a mintákat kevesebb mint egy hónap alatt feldolgoztuk. A kevés számú biomechanikai tanulmányban, amely során terheléses vizsgálatokat végeztek kutya csontokon implantátum tesztelés céljából, a fagyasztásos tárolási módszert használták (Leitner et al., 2008, Filipowicz et al., 2009, Hoffman et al., 2011). A Budapesti Műszaki Egyetem Biomechanikai Kutatólaboratóriumában az alkoholos tárolási módszert preferálták esetünkben, így ezt a módszert választottuk. Korábban egy tanulmányban, lovak metacarpalis csontjának biomechanikai vizsgálatakor szintén az alkoholos tartósítási módszert használták (Tóth et al., 2013).

Tanulmányunk alapján elmondhatjuk, hogy a 15 és 35 kg-os kutyák tibiájának eltöréséhez szükséges F_{\max} érték átlagosan $8193,25 \pm 2082,84$ N (1-es csoport, natív tibiák). A későbbi kutatásaink szempontjából fontos meghatározni az átlagos erő nagyságát, hogy az erre használt gépet megfelelően tudjuk beállítani. Tudomásunk szerint nem jelent meg tudományos közlés, amely hasonló adatokat közölt volna. A tesztelési sebességnek 50 mm/percet választottunk. A szakirodalomban erre vonatkozóan is kevés adat található, de például egy szögstabil és nem szögstabil implantátumot vizsgáló cikkben, ahol kutya humerusokon végezték a biomechanikai vizsgálatokat, 5 mm/perc-es sebességet használtak (Filipowicz et al., 2009). Az előtanulmány alapján elmondhatjuk, hogy az 50 mm/perces tesztelési sebességgel a kísérlet kivitelezhető volt, a törési minta a legtöbb esetben hasonló volt a spontán, postoperatív keletkezett törésekhez (**30. ábra**).



30. ábra: Törésteszt és spontán postoperatív szövődmény kutya tibián

A: Kutya tibia mediolateralis RTG felvétele a biomechanikai vizsgálat után, B: Kutya tibia TTA-rapid műtét utáni postoperatív mediolateralis RTG felvételen (saját kép, ÁTE Sebészeti és Szemészeti Klinika röntgenarchívum)

Négy mintánál a töréstesztet meg kellett ismételni, ugyanis a minták a tesztelő berendezésből terhelés hatására kicsúsztak oldalra. A **4. táblázatban** ezen minták adatait csillaggal jelöltük. A minták kicsúszása a tesztelő gépből vélhetően azért történt meg, mert a minta teteje és alja nem volt teljesen párhuzamos, erre kiemelt figyelmet kell fordítani a minták előkészítésénél a későbbi kísérletek során. A befogatás a minta alsó részén PMMA cementtel történt, ahogyan az egyéb állatorvosi biomechanikai tanulmányokban (Aguila et al., 2005, Leitner et al., 2008, Filipowicz et al., 2009). A minta tetejének a befogatásához epoxi öntőgyantát használtunk, ahogyan számos humán biomechanikai kutatásban (Ali et al., 2003, Houskamp et al., 2020).

A meglévő adatokból statisztikai analízist nem végezhetünk, szignifikanciát nem számolhatunk az alacsony mintaszám miatt. Azonban megállapíthatjuk, hogy a natív tibiák csoportjához képest ($8193,25 \pm 2082,84$ N), a 2-es csoportban található tibiák, amelyekről a tuberositas tibiae-t, illetve a crista tibiae-t osteotomizáltuk ($6868,58 \pm 1950,44$ N) és a 3-as csoportban található tibiák, amelyeken TTA-rapid műtétet végeztünk ($7169,71 \pm 4450,39$ N) átlagosan kisebb erőhatásra törtek el. Ez alapján végleges következtetést nem vonhatunk le,

de megállapíthatjuk, hogy a 2-es és 3-as csoporton végrehajtott módosítások, valószínűsíthetően gyengítik a tibia szerkezetét, teherbírását.

Tanulmányunk fő limitációja az alacsony mintaszám, illetve a befogatási mód hiányosságai. További kutatásunkban a mintaszámot szeretnénk csoportonként 10 mintára emelni. További limitációnak tekinthető a csoportok és az egyes modellek diverzitása, amely minden biomechanikai vizsgálatnál közrejátszik, amelyet cadavereken végeznek. A minták és csoportok homogenizálása érdekében alkalmaztuk a testtömeg limitációját (15-35 kg), illetve az egy állatból származó, ellenoldali tibiák különböző csoportba való besorolását.

Végkövetkeztetésként levonhatjuk, hogy egy átlagos, 15-35 kg testtömegű, egészséges csontszerkezettel rendelkező kutya tibiájának eltöréséhez átlagosan 8000-9000 N nagyságú axiális irányú erőhatásra van szükség. Illetve valószínűsíthetjük, hogy az elülső kereszteződő szalag szakadás gyógykezelésére használt, tuberositas tibiae és crista tibiae ostetotomiával járó műtéti technikák gyengíteni fogják a tibia axialis teherbírását, jelen kutatás alapján azonban ezt nem lehet teljes mértékben alátámasztani, szükséges egy nagyobb mintaszámon alapuló kísérlet végrehajtása, amely a doktori értekezés utolsó részét képezi.

Biomechanikai kísérlet

Tanulmányunkban arra kerestük a választ, hogy a TTA-rapid és a cTTA (mcTTA) módszerek szignifikánsan gyengítik-e a tibia szerkezetét, illetve a két módszer között van-e szignifikáns különbség ilyen tekintetben. A kísérletben alkalmaztuk az előtanulmány során szerzett tapasztalatunkat az értékek beállításánál, illetve a befogatási módszer tökéletesítésével. Hipotézisünket a klinikai életben tapasztalt komplikációs ráták alapján állítottuk fel. Feltételezéseink szerint a TTA-rapid műtét jobban meggyengíti a tibia szerkezetét mint a mcTTA műtét.

Anyag és módszer

Kísérleti elrendezés

A kísérlethez 15 kutya 30 darab ($n = 30$) tibiáját használtuk fel, 15 jobb oldali ($n = 15$) és 15 bal oldali ($n = 15$) tibiát. A tibiák olyan kutyatetemekből származtak, amelyek más okból kerültek elaltatásra és az Állatorvostudományi Egyetem Anatómiai és Szövetani Tanszékén oktatási célokra szánták. A csontokat 15-35 kg közötti kutyákból gyűjtöttük. A nagyon fiatal, illetve nagyon öreg kutyák csontjait nem használtuk fel, pontos életkori adatok nem álltak rendelkezésre.

A csontokról minden lágyszöveti struktúrát eltávolítottunk. A kísérlet előtt a tibiákat csoportokba osztottuk. Három csoport kialakítása volt a cél, egyenként 10 darab ($n = 10$) tibiával. Az 1-es csoport a natív tibiák csoportja, a 2-es csoport a TTA-rapid technikával módosított tibiák csoportja, míg a 3-as csoport a mcTTA technikával módosított tibiák csoportja lett. A csoportba sorolásnál több szempontot vettünk figyelembe a csoportok homogenitásának érdekében. A csoportba sorolás előtt a csontokat egyenként lemértük, méret szerint párokban sorba rendeztük (**31. ábra**). Ezután a csontokat méret szerint három csoportba soroltuk (nagy-, közepes- és kisméretűek). Ügyeltünk arra, hogy a három végleges csoportba minden méretcsoportból azonos számú tibia kerüljön. Továbbá a csontokat úgy tettük végleges csoportjukba, hogy azonos számú jobb és bal oldali tibia kerüljön mindenhova (5 db jobb oldali, illetve 5 db bal oldali). Azonos állatból származó csontok nem kerülhettek egy csoportba. Minden minta egyedi sorszámot kapott, a legnagyobbtól a legkisebb méretű csontig 1-től indulva, a jobb oldali tibiákat páratlan, a bal oldali tibiákat pedig páros számmal jelöltük. Minden csontnak megmértük a vastagságát is. Minden tibiáról kétirányú, mediolateralis, illetve caudocranialis RTG felvételeket készítettünk, egyéb csontot érintő betegségek kizárására. A nyílt növekedési zónákat tartalmazó, illetve osteoporoticus csontokat kizártuk a vizsgálatból. A tibiákat 70 W/V %-os etanol oldatban tároltuk.



31. ábra: Tibiák méret szerint párba rendezve a csoportba sorolás előtt

A képen több csont látható, mint amennyi a képen szerepelt, egy részüket más célra használtuk fel, illetve kizártuk
(saját kép)

A minták előkészítése

A különböző csoportokon először végrehajtottuk a módosításokat. Az 1-es csoporton nem végeztünk módosításokat, a 2-es csoporton végrehajtottuk a TTA-rapid műtétet, míg a 3-as csoporton az mcTTA műtétet. A módosításokat minden esetben személyesen végeztem.

A 2-es csoporton a TTA-rapid műtétet végeztük el. A csontokat satuba fogtuk, így végeztük el az osteotomiát. Minden esetben 6 mm-es cage-t (távtartó implantátum) használtunk (Scinova). A kísérlet szempontjából nem lényeges az előrevitel mértékének meghatározása, ezért az ebben a testméretben klinikailag leggyakrabban használt cage méretet választottuk. A távtartókat 4 darab 2 mm-es átmérőjű corticalis csavarral rögzítettük **(27. ábra)**.

A 3-as csoport mintáin az mcTTA műtétet végeztük el. A tibiákon az osteotomia végrehajtásánál figyeltünk arra, hogy a leírás szerint a legvékonyabb részen is megmaradjon a csont eredeti vastagságának 60 %-a, azonban a rotáció pontos mértékét itt sem számítottuk ki, mert a kísérlet szempontjából lényegtelen. A klinikailag tapasztalt átlagos mértéket, körülbelül 1 cm korrekciót alkalmaztunk minden mintán. A rotáció után a forgatást ideiglenesen rögzítettük egy K-dórttal, végül egy SOP lemezzel stabilizáltuk, majd a K-drótot eltávolítottuk. A SOP lemez stabilizálásához 2,7 mm átmérőjű corticalis csavarokat (Scinova) használtunk. A lemezek hosszúsága és a csavarok száma a minta mérete miatt eltérő volt az egyes esetekben, ahogyan a klinikai életben is. A lemezek 5-7 lyuk hosszúak, míg a felhasznált csavarok száma 4-6 darab között változott. Egy elkészült mcTTA-val operált minta képe a **32. ábrán** látható.

A módosítások végrehajtása után a mintákat a töréskeresztek végrehajtásához alul és felül be kellett fogatni. A befogatás módja nagyvonalakban megegyezik az előtanulmányban

alkalmazottal, azonban az előtanulmány során észleltük, hogy ha a minták alja és teteje nem párhuzamos teljesen, a minta kicsúszik a tesztelés során, így erre külön technikát alakítottunk ki. A minta alsó részét egy vascsőbe fogattuk be, amelynek az alja szélesebb zárókupakban végződik, ehhez polimetil-metakrilát cementet (PMMA; Demotec, Demotec 90) használtunk. A minta felső részét alumínium tálkába, epoxi öntőgyanta (Novia, WWA+WWBHT) segítségével rögzítettük. Az anyagokat tekintve ez megegyezik az előtanulmányban használtakkal.

Elsőként a minta alsó részét fogattuk be, a csoportba sorolásnál feljegyeztük a csontok méretét, majd mindegyiknél bejelöltük a csont alsó egyharmad részét, amely a vascsőbe, illetve a PMMA cementbe került (33. ábra). Az alsó rész befogatása után egy speciálisan erre a célra készített keretet használtunk a felső rész befogatásához, illetve, hogy pontosan párhuzamos legyen a minta alja és teteje (34. ábra).



32. ábra: mcTTA műtéttel módosított kutya tibia
(saját kép)



33. ábra: Egy csoportba tartozó tibiák alsó egyharmadukon jelöléssel a befogatás előtt
(saját kép)



34. ábra: A minták a beöntés során az erre készített eszközben
(saját kép)

A beöntést segítő állvány alján található fém lapban a felső rész befogására szolgáló alumínium tálkának megfelelő hely lett kialakítva, a felső fémlapon pedig a vascső kupakját tartó forma került kialakításra. A mintákat a felső fémlapba illesztve fejjel lefelé lelógattuk, majd a kívánt méretet a pillangós csavarral ellátott rudakon beállítottuk. A minták eltérő mérete miatt állítható szerkezetre volt szükség. A párhuzamosságot az alsó és a felső fémlapon elhelyezett vízmérték segítségével értük el. A kívánt pozíció beállítása után a fémtálcákba epoxi gyantát öntöttünk és a kötési idő erejéig így hagytuk a mintákat (**34. ábra**).

Mechanikai tesztelés

A tesztelés folyamata az előtanulmányban alkalmazott metodika szerint történt. A mintákat statikus axialis kompressziós erőhatásnak tettük ki. A törésvizsgálatot a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Polimerteknikai Tanszékén és Biomechanikai Kutatólaboratóriumában végeztük akkreditált, ZWICK Z020-as szakítógéppel (**35. ábra**). A tesztek minden esetben a Kutatólaboratórium dolgozók hajtották végre (Faragó Dénes, Dr. Szabó Gábor), ahogy az előtanulmány során is. Az axialis kompressziót csonttörésig vizsgáltuk, az adatokat erő-elmozdulás görbén ábrázoltuk. A csonttörést az első nagyobb esésként definiáltuk az erő-elmozdulás görbén. Azt az erőt, aminél ez bekövetkezett,



35. ábra: Tesztelésre kész minta (A), illetve a minta a ZWICK Z020-as szakítógépben (B) (saját kép)

maximális erőhatásnak neveztük el (F_{max}). Az előterhelés 1 N erővel történt, az előterhelési sebesség 100 mm/min, a tesztelési sebesség pedig 50 mm/min volt.

Statisztikai elemzés

A kapott adatok F_{max} értékeiből átlagot, szórást és mediánt számoltunk. A kapott F_{max} értékek átlagát használva az egyes csoportok közötti különbséget t-teszttel hasonlítottuk össze. A szórások közötti különbségek összehasonlítására f-tesztet használtunk. Szignifikáns különbségnek számít, amennyiben $p < 0,05$.

Eredmények

Az 1-es csoportban 10 db natív tibia került tesztelésre. A kapott F_{max} értékek átlaga és szórása $11573,92 \pm 1962,68$ N. A medián érték 11525,41 N.

A 2-es csoportban 10 db mintát teszteltünk, amelyen TTA-rapid műtétet hajtottunk végre. Egy mintánál technikai hiba lépett fel, a minta az előterhelés során eltört, így nem született értékelhető F_{max} érték. Az F_{max} értékek átlaga és szórása ebben a csoportban $12480,97 \pm 4169,96$ N. A medián érték 13022,14 N.

A 3-as csoportban 10 db mcTTA technikával módosított mintát teszteltünk. Az F_{max} értékek átlaga és szórása $11842,61 \pm 3861,27$ N. A medián érték 10704,59 N.

Az összes csoport minden mintájának F_{max} értékei az **5-ös számú táblázatban** találhatóak.

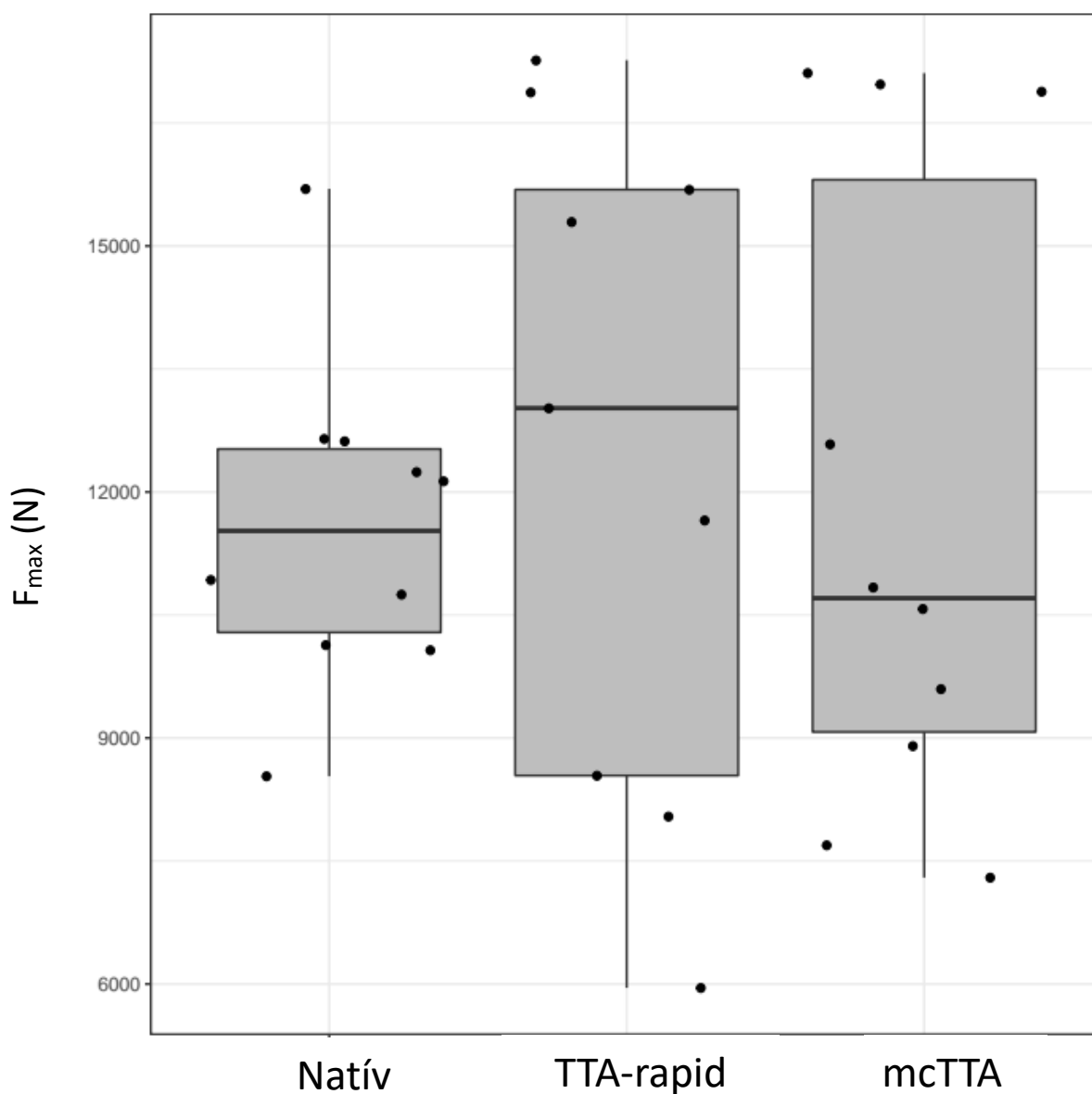
5. táblázat: Az egyes csoportok mintáinak F_{max} értékei (N), illetve a kapott értékek átlaga, szórása és medián értékei

	1-ES CSOPORT (NATÍV TIBIA)	2-ES CSOPORT (TTA-RAPID)	3-AS CSOPORT (MCTTA)
	15696,90	16868,64	12579,68
	10072,05	15292,30	17107,56
	12619,11	11655,28	16966,74
	12239,99	13022,14	10835,24
	8533,55	15686,66	16883,4
	12645,57	8043,43	8899,96
	10923,38	17264,92	10573,93
	12127,43	technikai hiba	7296,96
	10746,91	5953,46	9593,17
	10134,31	8541,94	7689,46
ÁTLAG	11573,92	12480,97	11842,61
SZÓRÁS	1962,68	4169,96	3861,27
MEDIÁN	11525,41	13022,14	10704,59

Az F_{\max} értékek átlagát összehasonlítva egyik csoport között sem találtunk szignifikáns különbséget, a csontok minden csoportban átlagosan ugyanakkora erőhatásra törtek el. A p értékek a következőképpen alakultak:

- 1-es és 2-es csoport között: $p = 0,5632$
- 1-es és 3-as csoport között: $p = 0,8474$
- 2-es és 3-as csoport között: $p = 0,7344$

Az adatokat boxplot diagramon ábráztuk (36. ábra)



36. ábra: Az 1-es (natív), 2-es (TTA-rapid) és 3-as (mcTTA) csoport F_{\max} értékei boxplot diagramon

Az ábrán jól megfigyelhető, hogy ugyan az F_{\max} átlagértékek között nincs nagy eltérés és a különbségek nem is szignifikánsak, azonban az 1-es csoportban az F_{\max} értékek

szóródása jóval kisebb, mint a 2-es és 3-as csoportban. A szóródások mértékét összehasonlítva az 1-es és 2-es csoport között szignifikáns különbséget találtunk ($p = 0,0372$), míg az 1-es és 3-as csoport között ($p = 0,0564$), illetve a 2-es és 3-as csoport között ($p = 0,8171$) a különbség nem szignifikáns, azonban az 1-es és 3-as csoport között is jelentősnek mondható a különbség. Tehát elmondható, hogy a TTA-rapid és az mcTTA műtéttel módosított csontok bizonyos esetekben jóval kisebb, bizonyos esetekben pedig jóval nagyobb erőhatásra törtek el.

Megbeszélés

A kísérlet kérdésfelvetése a szakirodalmi, illetve saját adatainkon alapult. A TTA-rapidról megjelent egyes publikációkban, major komplikációk tekintetében, a tibia haránttörése mint postoperatív komplikáció több esetben is előfordult, Butterworth és Kydd 1,3 %-os komplikációs rátát (2017), míg Dyll és Schmökel 4,2 %-os komplikációs rátát talált (2017) ezt az egy komplikációt tekintve. Saját adatainkat tekintve a TTA-rapid ilyen szempontból 6,7 %-os komplikációs rátát produkált. Az mcTTA műtétet tekintve kevesebb adat áll rendelkezésre. Az eredeti leírásban tibia haránttörést tekintve 3,4 %-os komplikációs rátát találtunk (Petazzoni, 2010), míg saját adatainkat tekintve 3,3 %-os komplikációs ráta adódott. Kísérletünkben azt a kérdést szerettük volna megválaszolni, hogy ez a típusú komplikáció a tibia szerkezetének jelentős meggyengüléséből fakad-e, illetve van-e különbség ilyen tekintetben az általunk alkalmazott két műtéttípus között. Hipotézisünk alapján a TTA-rapid műtét esetén nagyobb eséllyel fordul elő tibia törés, mint a mcTTA/cTTA műtét esetén (TTA-rapid: 6,7 %; mcTTA: 3,3 %).

A kísérletben szereplő három csoport (natív, TTA-rapiddal módosított, mcTTA-val módosított) esetében megállapítottuk az F_{max} értékeket, majd ezek átlagát hasonlítottuk össze. Az egyes csoportokat egymással összevetve nem kaptunk szignifikáns különbségeket (natív/TTA-rapid: $p = 0,5632$; natív/mcTTA: $p = 0,8474$; TTA-rapid/mcTTA: $p = 0,7344$). Tehát kijelenthetjük, hogy a tibia szerkezetében az átlagot tekintve az egyes műtéttechnikák nem okoznak jelentős biomechanikai szerkezetgyengülést axiális kompressziós terhelés tekintetében. Az adatokat boxplot diagramon ábrázolva (**36. ábra**) azonban megfigyelhetjük, hogy a natív tibiák csoportjában az adatok szóródása kisebb, míg a TTA-rapid és az mcTTA csoportban ez jelentősebb. A szórás értékeket statisztikai analízisnek alávetve azt kaptuk, hogy a natív tibiák és a TTA-rapiddal módosított tibiák között az F_{max} értékek szórását tekintve szignifikáns a különbség ($p = 0,0372$) van, míg a natív tibiák és az mcTTA-val módosított tibiák között ($p = 0,0564$), illetve a TTA-rapiddal és mcTTA-val módosított tibiák között ($p = 0,8171$) nincs szignifikáns különbség. Tehát a TTA-rapid műtéttel módosított tibiák bizonyos esetekben nagyobb, bizonyos esetekben kisebb erőhatásra törtek el. Ugyanez elmondható a mcTTA

csoportról is, ahol szintén jelentős volt a szórás mértéke, azonban az eredmény nem érte el a szignifikáns értéket. Ebből arra következtethetünk, hogy mindkét műtéti technika jelentősen megváltoztatja a tibia ellenálló képességét axiális kompressziós terhelés szempontjából a natív tibiához képest, a TTA-rapid technika esetében szignifikánsan nagyobb az átlagos F_{max} értéktől való eltérés, azonban mindkét műtét esetében több tényező is szerepet játszhat az értékek alakulásában, így a törések létrejöttében, nem csak a tibia biomechanikai szerkezete. Ilyen tényezők lehetnek például az implantátumok elhelyezkedése, a tibia hossz/vastagság aránya, illetve TTA-rapid esetében az intraoperatív szövődeményként előforduló distalis corticalis híd törések. Nagyon kevés biomechanikai tanulmány létezik, egy tanulmány az MMT technika esetében (**16. ábra**), amely hasonlít a TTA-rapid technikához, a distalis corticalis híd mechanikai tulajdonságait vizsgálta axiális terhelés esetén (Brunel et al., 2013). Axialis kompressziós terhelés esetén szignifikáns összefüggést találtak a distalis corticalis híd törése és a testsúly, az előrevitel nagysága és a corticalis híd vastagsága között.

A kísérlet cadaver kísérlet volt, így az egyes csoportokban lévő csontok nem voltak teljesen egyformák. Azonban a csoportok homogenizálása érdekében csak 15-35 kg közötti kutyák csontjait használtuk fel, a jobb és baloldali csontok minden esetben külön csoportba kerültek, a csontokat hosszúság szerint is osztályoztuk, majd figyelembe vettük a csoportba osztásnál. A kísérlet alapján megállítható, hogy a 15-35 kg közötti kutyák tibiája átlagosan $11573,92 \pm 1962,68$ N (átlag \pm szórás) erőhatásra törik el 50 mm/perces axiális kompressziós terhelés hatására.

A témában létező egyéb cadaver biomechanikai tanulmányok is az MMT technikáról készült tanulmányhoz hasonlóan a TTA és változatainak esetében az osteotomizált darab stabilitását vizsgálja (McCartney et al., 2019), illetve a TTA-CF-ről egy az implantátum osteointegrációját vizsgáló biomechanikai tanulmány is létezik (Zhalniarovich et al., 2022). Legjobb tudomásom szerint a mi kísérletünkhöz hasonló nem létezik a témában, a tibia töréses komplikációkat biomechanikai vizsgálatok keretében nem elemezték.

Kísérletünk limitáló tényezők közé tartozik az alacsony mintaszám, illetve, hogy a TTA-rapid csoportban eggyel kevesebb adat áll rendelkezésre. A csoportok a tanulmány cadaver jellege révén nem teljesen homogének. A hiányzó adat a szakítógép helytelen beállításából adódott, a minta a vizsgálat előtt eltört. A mintákat csak axiális kompressziós erőhatásnak tettük ki.

A kísérletet a jövőben ki lehetne egészíteni ciklikus terheléses vizsgálattal, illetve rotációs erőhatás vizsgálatával, nagyobb mintaszámban. TTA-rapid módszer esetében érdemes lehet vizsgálni a distalis corticalis híd vastagsága és az F_{max} értékek közötti összefüggést.

A kísérlet alapján megállíthatjuk, hogy a tibia biomechanikai szerkezete, az axiális kompressziós erőhatással szemben, az átlagot véve nem gyengül szignifikánsan a vizsgált

TTA-rapid, illetve mcTTA módszerektől, azonban a TTA-rapid módszernél egyes egyedeknél, nem feltérképezett tényezők miatt a tibia biomechanikai stabilitása az axiális kompressziós erőhatással szemben szignifikánsan módosulhat. Az mcTTA módszernél is egyedeket tekintve jelentősen eltérhet a tibia biomechanikai stabilitása, közelíti a szignifikáns értéket. Hipotézisünk így az átlagos értékeket vizsgálva nem nyert megerősítést.

Klinikai és biomechanikai kutatásaink alapján elmondható, hogy mindkét vizsgált műtéti technika kis komplikációs rátával rendelkezik, intraoperatív komplikációk tekintetében bár szignifikáns a különbség, összességében mindkét technikánál kevés komplikáció jelentkezett, így biztonsággal alkalmazható a klinikumban.

Új tudományos eredmények

1. Kidolgoztuk a cTTA (mcTTA) műtéti technika preoperatív tervezésének részletes lépéseit, illetve az mcTTA műtéti technika részletes leírását.
2. Megállapítottuk az mcTTA módszer rövidtávú eredményeit.
3. Összehasonlítottuk a TTA-rapid és az mcTTA műtét komplikációit és szignifikáns különbséget állapítottunk meg a két technika között intraoperatív komplikációk tekintetében, az mcTTA műtét esetében szignifikánsan kevesebb intraoperatív komplikációt találtunk.
4. Megállapítottuk, hogy statikus axiális kompressziós erőhatásnak kitéve, a 15-35 kg-os kutyák tibiája átlagosan $11573,92 \pm 1962,68$ N F_{\max} erőhatásra törik el.
5. Megállapítottuk, hogy a 15-35 kg közötti kutyák tibiáját a TTA-rapid és a mcTTA műtét az átlagot tekintve szignifikánsan nem gyengíti meg.

Irodalom

Aguila, A.Z., Manos, J.M., Orlansky, J.M., Todhunter, R.J., Trotter, E.J., Van Der Meulen, M.C.H.: **In vitro biomechanical comparison of limited contact dynamic compression plate and locking compression plate**, Vet Comp Orthop Traumatol 18(04), 220-226.,2005.

Ali, A.M, Saleh, M., Bolongaro, S., Yang, L.: **The strength of different fixation techniques for bicondylar tibial plateau fractures - a biomechanical study**, Clin Biomech, 18(9), 864-870., 2003.

Arican, M., Parlak, K., Sahin, H.: **Evaluation and Application of the TTA-Rapid Method in Dogs with Cranial Cruciate Ligament Rupture**, Acta Vet. Beograd, 67 238-253., 2017.

Arnoczky, S. P., Marshall, J. L.: **The cruciate ligaments of the canine stifle: an anatomical and functional analysis**, Am. J. Vet. Res., 38(11), 1807-1814., 1977.

Beaupied, H., Dupuis, A., Arlettaz, A., Brunet-Imbault, B., Bonnet, N., Jaffré, C., Benhamou, C.L., Courteix, D.: **The mode of bone conservation does not affect the architecture and the tensile properties of rat femurs**, Biomed Mater Eng., 16(4), 253-259., 2006.

Ben-Amotz, R., Dycus, D. L.: **Complications in Canine Cranial Cruciate Ligament Surgery**, John Wiley & Sons, Hoboken, USA, pp 3-13, 199-201., 2021.

Bergh, M.S., Sullivan, C., Ferrell, C.L., Troy, J., Budsberg, S.C.: **Systematic review of surgical treatments for cranial cruciate ligament disease in dogs**, J Am Anim Hosp Assoc, 50(5), 315-321., 2014.

Biskup, J.J., Griffon, D.J.: **Technical difficulties during the training phase for Tightrope® and percutaneous lateral fabellar suture techniques for cranial cruciate ligament repair**, Vet Surg. 43(3), 347-354., 2014.

Blond, L., Thrall, D.E., Roe, S.C., Chailleux, N., Robertson, I.D.: **Diagnostic accuracy of magnetic resonance imaging for meniscal tears in dogs affected with naturally occurring cranial cruciate ligament rupture**, Vet Radiol Ultrasound., 49(5), 425-431., 2008.

Boudrieau, R.J.: **Tibial plateau leveling osteotomy or tibial tuberosity advancement ?**, Vet Surg., 38(1), 1-22., 2009.

Brown, N.P., Bertocci, G.E., Marcellin-Little, D.J.: **Canine stifle biomechanics associated with tibial tuberosity advancement predicted using a computer model**, *Vet Surg*, 44(7), 866-873., 2015.

Brunel, L., Etchepareborde, S., Barthélémy, N., Farnir, F., Balligand, M.: **Mechanical testing of a new osteotomy design for tibial tuberosity advancement using the Modified Maquet Technique**, *Vet Comp Orthop Traumatol.*, 26(1) 47-53, 2013.

Butterworth S.J., Kydd D.M.: **TTA-rapid in the treatment of the canine cruciate deficient stifle: short- and medium-term outcome**, *J Small Anim Pract*, 58 35-41, 2017.

Cadmus, J., Palmer, R. H., Duncan, C.: **The effect of preoperative planning method on recommended tibial tuberosity advancement cage size**, *Vet Surg.*, 43(8), 995-1000., 2014.

Canapp Jr S.O.: **The canine stifle**. *Clin Tech Small Anim Pract.*, 22(4), 195-205., 2007.

Costa, M., Craig, D., Cambridge, T., Sebestyén, P., Su, Y., Fahie, M.A.: **Major complications of tibial tuberosity advancement in 1613 dogs**, *Vet Surg.*, 46 494-500., 2017.

DeCamp C. E.: **Brinker, Piermattei and Flo's Handbook of Small Animal Orthopedics and Fracture Repair (Fourth edition)**, Elsevier Health Sciences pp 582-585., 2015.

Dennler, R., Kipfer, N.M., Tepic, S., Hassig, M., Montavon, P.M.: **Inclination of the patellar ligament in relation to flexion angle in stifle joints of dogs without degenerative joint disease**, *Am. J. Vet. Res.*, 67(11), 1849-1854., 2006.

De Rooster, H., De Bruin, T., Van Bree, H.: **Invited review - morphologic and functional features of the canine cruciate ligaments**. *Vet Surg.*, 35(8), 769-780., 2006.

Diószegi Z.: **Kisállat-ortopédia**. Melánia Kiadó Kft., pp. 289-321., 2007.

Dyall, B., Schmökel, H.: **Tibial tuberosity advancement in small-breed dogs using TTA Rapid implants: complications and outcome**, *J Small Anim Pract.*, 58, 314-322., 2017.

Etchepareborde, S., Barthelemy, N., Mills, J., Pascon, F., Ragetly, G. R., & Balligand, M. (2010). **Mechanical testing of a modified stabilisation method for tibial tuberosity advancement**, *Vet Comp Orthop Traumatol.*, 23(06), 400-405., 2010.

Etchepareborde, S., Barthelemy, N., Brunel, L., Claeys, S., Balligand, M.: **Biomechanical testing of a β -tricalcium phosphate wedge for advancement of the tibial tuberosity**, *Vet Comp Orthop Traumatol.*, 27(1), 14-19, 2014.

Etchepareborde, S., Brunel, L., Bollen, G., Balligand, M.: **Preliminary experience of a modified Maquet technique for repair of cranial cruciate ligament rupture in dogs**, Vet Comp Orthop Traumatol., 24, 223-227., 2011.

Fehér Gy.: **A háziállatok funkcionális anatómiája 1**, Mezőgazda Kiadó, Budapest, pp. 120-124, pp. 169-181, 2005.

Filipowicz, D., Lanz, O., McLaughlin, R., Elder, S., Werre, S.: **A biomechanical comparison of 3.5 locking compression plate fixation to 3.5 limited contact dynamic compression plate fixation in a canine cadaveric distal humeral metaphyseal gap model**. Vet Comp Orthop Traumatol., 22(4) 270-277, 2009.

Gnudi, G., Bertoni, G.: **Echographic examination of the stifle joint affected by cranial cruciate ligament rupture in the dog**. Vet Radiol Ultrasound., 42(3), 266-270., 2001.

Griffon, D. J.: **A review of the pathogenesis of canine cranial cruciate ligament disease as a basis for future preventive strategies**, Vet Surg., 39(4), 399-409., 2010.

Hayashi, K., Manley, P. A., Muir, P.: **Cranial cruciate ligament pathophysiology in dogs with cruciate disease: a review**, J Am Anim Hosp Assoc., 40(5), 385-390., 2004.

Heffron, L.E., Campbell, J.R.: **Morphology, histology and functional anatomy of the canine cranial cruciate ligament**, Vet.Rec., 102(13), 280-283., 1978.

Henderson, R.: **The tibial compression mechanism: a diagnostic aid in stifle injuries**, J Am Anim Hosp Assoc., 4, 474-478., 1978.

Hermanson, J. W., De Lahunta, A., Evans, H.E.: **Miller and Evans' Anatomy of the dog, 5th Edition**. Elsevier Inc., pp. 165-167, 198-202., 2020.

Hoffmann, D.E., Kowaleski M.P., Johnson K.A., Evans, R.B., Boudrieau R.J.: **Ex Vivo Biomechanical Evaluation of the Canine Cranial Cruciate Ligament-Deficient Stifle with Varying Angles of Stifle Joint Flexion and Axial loads after Tibial Tuberosity Advancement**, Vet Surg., 40(3), 311-320, 2011.

Hoffmann, D.E., Miller, J.M., Ober, C.P., Lanz, O.I., Martin, R.A., Shires, P.K.: **Tibial Tuberosity advancement in 65 canine stifles**, Vet Comp Orthop Traumatol., 19 219-227., 2006.

Houskamp, D.J., Tompane, T., Barlow, B.T.: **What Is the Critical Tibial Resection Depth During Unicompartmental Knee Arthroplasty? A Biomechanical Study of Fracture Risk.** J. Arthroplasty., 35(8), 2244-2248., 2020.

Ipolyi T., Zólyomi D., Szalay F., Diószegi Z., Molnár P., Dunay M.P., Simon Cs., Németh, T.: **cTTA: Egy új módszer kutyák elülső kereszteződőszalag-szakadásának gyógykezelésére-2. rész: műtéti technika,** Magyar Állatorvosok Lapja, 137(10), 595-602., 2015.

Kim, S. E., Jones S. C., Lewis D. D., Banks S. A., Conrad B. P., Tremolada G., Abbasi A.Z., Coggeshall J.D., Pozzi, A.: **In-vivo three-dimensional knee kinematics during daily activities in dogs,** J. Orthop. Res., 33(11), 1603-1610., 2015.

Kim, S.E., Pozzi, A., Kowaleski, M.P., Lewis, D.D.: **Tibial osteotomies for cranial cruciate ligament insufficiency in dogs,** Vet Surg., 37(2), 111-125., 2008.

Lafaver, S., Miller, N.A., Stubbs, W.P., Taylor, R.A., Boudrieau, R.J.: **Tibial tuberosity advancement for stabilization of the canine cranial cruciate ligament-deficient stifle joint: surgical technique, early results, and complications in 101 dogs,** Vet Surg., 36(6), 573-586., 2007.

Lefebvre, M.D., Broux, O.R., Barthélémy, N.P., Hamon, M., Moyses, E.V., Bouvy, B.M., Balligand, M.H.: **Risk factors for tibial damage associated with the modified Maquet technique in 174 stifles,** Vet Surg 47, 30-35, 2018.

Leitner, M., Pearce, S.G., Windolf, M., Schwieger, K., Zeiter, S., Schawalder, P., Johnson, K.A.: **Comparison of Locking and Conventional Screws for Maintenance of Tibial Plateau Positioning and Biomechanical Stability After Locking Tibial Plateau Leveling Osteotomy Plate Fixation,** Vet Surg., 37(4) 357-365., 2008.

Maquet, P.: **Advancement of the tibial tuberosity,** Clin. Orthop. Relat. Res., (115), 225-230., 1976.

McCartney, W., Ober, C., Benito, M., MacDonald, B.: **Comparison of tension band wiring and other tibial tuberosity advancement techniques for cranial cruciate ligament repair: an experimental study,** Acta Vet Scandinavica, 61(1), 1-7. 2019.

Millet, M., Bismuth, C., Labrunie, A., Marin, B., Filleur, A., Pillard, P., Sonet, J., Cachon T., Etchepareborde, S.: **Measurement of the patellar tendon-tibial plateau angle and**

tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate ligament rupture, Vet Comp Orthop Traumatol., 26(06), 469-478., 2013.

Montavon, P.M, Damur, D.M., Tepic, S.: **Advancement of the tibial tuberosity for the treatment of cranial cruciate deficient canine stifle**, Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress, Germany: Munich, p. 152. 2002, September.

Muir, P.: **Advances in the canine cranial cruciate ligament**. John Wiley & Sons., Hoboken, USA. pp. 39-43., 2018.

Pacchiana, P. D., Morris, E., Gillings, S. L., Jessen, C. R., Lipowitz, A. J.: **Surgical and postoperative complications associated with tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament rupture: 397 cases (1998–2001)**, J.Am.Vet.Med.Assoc., 222(2), 184-193., 2003.

Payne, J.T., Constantinescu, G.M.: **Stifle joint anatomy and surgical approaches in the dog**, Vet Clin North Am Small Anim Pract, 23(4), 691-701., 1993.

Petazzoni, M.: **cTTA (circular Tibial Tuberosity Advancement)**, ESVOTVOS proceedings, 295-296., 2010.

Pozzi, A., Hildreth, B.E., Rajala-Schultz, P.J.: **Comparison of arthroscopy and arthrotomy for diagnosis of medial meniscal pathology: an ex vivo study**, Vet Surg., 37(8), 749-755., 2008.

Priddy, N. H., Tomlinson, J. L., Dodam, J. R., Hornbostel, J. E.: **Complications with and owner assessment of the outcome of tibial plateau leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament rupture in dogs: 193 cases (1997–2001)**, J.Am.Vet.Med.Assoc., 222(12), 1726-1732., 2003.

Ramirez, J., Barthélémy, N., Noël, S., Claeys, S., Etchepareborde, S., Farnir, F., Balligand, M.: **Complications and outcome of a new modified Maquet technique for treatment of cranial cruciate ligament rupture in 82 dogs**, Vet Comp Orthop Traumatol., 28(05): 339-346. 2015.

Roe, S. C., Kue, J., Gemma, J.: **Isometry of potential suture attachment sites for the cranial cruciate ligament deficient canine stifle**, Vet Comp Orthop Traumatol., 21(03), 215-220., 2008.

Rovesti, G. L., Katic, N., Dalpozzo, B., Dondi, F., Dupré, G.: **Effects of rotation and osteotomy angulation on patellar tendon insertion position during circular tibial tuberosity osteotomy**, Vet Surg., 42(1), 51-59., 2013.

Roydev, R., Goranov, N.: **Long-Term Clinical and Goniometric Follow-Up of TTA Rapid Surgery in Dogs with Cranial Cruciate Ligament Rupture**, Acta Vet. Eurasia 47 154-160., 2021.

Samoy, Y., Verhoeven, G., Bosmans, T., Van der Vekens, E., de Bakker, E., Verleyen, P., & Van Ryssen, B.: **TTA rapid: description of the technique and short term clinical trial results of the first 50 cases**, Vet Surg., 44(4), 474-484., 2015

Slocum, B., Devine, T.: **Cranial tibial thrust: a primary force in the canine stifle**, J.Am.Vet.Med.Assoc., 183(4), 456-459.,1983.

Slocum, B., Devine, T.: **Cranial tibial wedge osteotomy: a technique for eliminating cranial tibial thrust in cranial cruciate ligament repair**, J.Am.Vet.Med.Assoc., 184(5), 564-569., 1984.

Slocum, B., Slocum, T. D.: **Tibial plateau leveling osteotomy for repair of cranial cruciate ligament rupture in the canine**, Vet Clin North Am Small Anim Pract., 23(4), 777-795., 1993.

Stauffer, K.D., Tuttle, T.A., Elkins, A.D., Wehrenberg, A.P., Character, B.J.: **Complications associated with 696 tibial plateau leveling osteotomies (2001-2003)**, J Am Anim Hosp Assoc., 42(1), 44-50., 2006.

Stein, S., Schmoekel, H.: **Short-term and eight to 12 months results of tibial tuberosity advancement as treatment of canine cranial cruciate ligament damage**, J Small Anim Pract., 49 398-404., 2008.

Szalay F., Zólyomi D., Ipolyi T.: **A kutya térdizületének anatómiája és biomechanikai alapjai - 1. rész: anatómiai áttekintés**, Magyar Állatorvosok Lapja 137(10), 587-594., 2015.

Tepic, S., Damur, D.M., Montavon, P.M.: **Biomechanics of the stifle joint**, In Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress, pp. 189-190., Germany: Munich., 2002 September.

Tinga, S., Kim, S.E., Banks, S.A., Jones, S.C., Park, B.H., Pozzi, A., Lewis, D.D.: **Femorotibial kinematics in dogs with cranial cruciate ligament insufficiency: a three-dimensional in-vivo fluoroscopic analysis during walking**, BMC Vet.Res. 14(1), 1-9., 2018.

Tóth, P., Hinton, G., Horváth, Cs., Frencz, V., Tóth, B., Szenci, O., Bodó, G.: **Bone mineral density and computer tomographic measurements in correlation with failure strength of equine metacarpal bones**, *Acta Vet Brno* 83, 45-50., 2014.

Whitehair, J. G., Vasseur, P. B., Willits, N. H.: **Epidemiology of cranial cruciate ligament rupture in dogs**, *J.Am.Vet.Med.Assoc.*, 203(7), 1016-1019., 1993.

Wolf, R.E., Scavelli, T.D., Hoelzler, M.G., Fulcher, R.P., Bastian, R.P.: **Surgical and postoperative complications associated with tibial tuberosity advancement for cranial cruciate ligament rupture in dogs: 458 cases (2007-2009)**, *J.Am.Vet.Med.Assoc.*, 240/12 1481-1487., 2012.

Wright, K., Newell, K., & Durand, O.: **Canine stifle stabilization system: For a circular tibial tuberosity advancement (cTTA) procedure**. In *2014 40th Annual Northeast Bioengineering Conference (NEBEC)* pp. 1-2., IEEE., 2014, April.

Zhalniarovich, Y., Mieszkowska, M., Przyborowska-Zhalniarovich, P., Głodek, J., Sobolewski, A., Waluś, G., Adamiak, Z.: **A novel tibial tuberosity advancement technique with cranial implant fixation (TTA CF): a pilot study in sheep**. *BMC Vet Res.*, 14, 231., 2018.

Zhalniarovich, Y., Przyborowska-Zhalniarovich, P., Tobolska, A., Mieszkowska, M., Abako, J., Morawska-Kozłowska, M., Mieszkowski, M., Onichimowski, D.: **Mechanical Testing of the New Cage for Tibial Tuberosity Advancement with the Cranial Implant Fixation (TTA CF) Technique—Ex Vivo Study on Sheep Model**, *Animals*, 12(16), 2013, 2022.

Zólyomi D., Seregi A., Ipolyi T., Csizmadia P., Diószegi Z., Solymosi N.: **VOM: a free veterinary orthopaedic planner software**, *Magyar Állatorvosok Lapja* 137(1), 37-44., 2015a.

Zólyomi D., Ipolyi T., Szalay, F., Molnár P., Dunay M.P., Simon Cs., Németh T.: **cTTA: A new treatment method for cranial cruciate ligament rupture in dogs, part 1.: preoperative planning**, *Magyar Allatorvosok Lapja* 8, 465–475., 2015b.

A doktori kutatás eredményeinek közlései

Lektorált, impakt faktorral bíró tudományos folyóiratban megjelent publikációk:

Zólyomi, D., Ipolyi, T., Molnár, P., Németh, T., Faragó, D., Kiss, R., Szalay, F.: **Biomechanical testing of canine tibiae: Changes resulting from different tibial tuberosity advancement techniques—Pilot study.** Acta Veterinaria Hungarica, 70 (3), 230-235., 2022.

Zólyomi, D., Ipolyi, T., Molnár, P., Papp, M., Szalay, F., Németh, T.: **Comparison of the Complication Rates of the First 30 TTA-rapid and cTTA Procedures,** Acta Veterinaria Hungarica, 2022. DOI: 10.1556/004.2022.00033

Zólyomi D., Ipolyi T., Szalay, F., Molnár P., Dunay M.P., Simon Cs., Németh T.: **cTTA: Egy új módszer kutyák elülső kereszteződőszalag-szakadásának gyógykezelésére-1. rész: preoperatív tervezés,** Magyar Allatorvosok Lapja 8, 465–475., 2015.

Zólyomi D., Seregi A., Ipolyi T., Csizmadia P., Diószegi Z., Solymosi N.: **VOM: szabad felhasználású ortopédiai tervező és mérő szoftver,** Magyar Állatorvosok Lapja, 137(1), 37-44., 2015.

Ipolyi T., Zólyomi D., Szalay F., Diószegi Z., Molnár P., Dunay M.P., Simon Cs., Németh, T.: **cTTA: Egy új módszer kutyák elülső kereszteződőszalag-szakadásának gyógykezelésére-2. rész: műtéti technika,** Magyar Állatorvosok Lapja, 137(10), 595-602., 2015.

Szalay F., Zólyomi D., Ipolyi T. (2015): **A kutya térdízületének anatómiája és biomechanikai alapjai - 1. rész: anatómiai áttekintés,** Magyar Állatorvosok Lapja 137(10), 587-594., 2015.

Konferencia prezentációk

Zólyomi D., Ipolyi T.: **cTTA: egy új módszer kutyák elülső kereszteződő szalag szakadásának gyógykezelésére – preoperatív tervezés és műtéti technika,** MTA Akadémiai Beszámolók, Budapest, 2015.

Zólyomi D., Ipolyi T.: **cTTA: egy új módszer kutyák elülső kereszteződő szalag szakadásának gyógykezelésére – tapasztalatok 55 eset alapján,** MTA Akadémiai Beszámolók, Budapest, 2016.

Köszönetnyilvánítás

- Ezúton szeretném megköszönni témavezetőimnek dr. Szalay Ferencnek és prof. dr. Németh Tibornak a támogatást, tanácsokat, útmutatást.
- Köszönöm szépen dr. Ipolyi Tamásnak a kutatásban való részvételét, hallgató koromtól kezdve a támogatását, az oktatásomat az ortopéd sebészet terén, illetve, hogy mindig bátorított a nehéz út során.
- Köszönöm dr. Molnár Péter munkáját, aki lelkesen segített és támogatott a publikációk írásában.
- Köszönettel tartozom a Radiológiai Osztály dolgozóinak a vizsgálatok során nyújtott segítségükért.
- Szeretném megköszönni dr. Papp Mártonnak a statisztikai elemzések elvégzését és magyarázását, illetve a szükséges ábrák elkészítését, türelmét.
- Köszönöm mind az ÁTE Sebészeti és Szemészeti Tanszék, mind az Anatómiai és Szövetani Tanszék összes dolgozójának a türelmét, illetve a segítségnyújtását.
- Köszönöm dr. Diószegi Zoltánnak, az ortopéd sebészet területén való oktatást, támogatást.
- Szeretném megköszönni a barátaim és családom türelmét és támogatását az évek során
- Legfőképpen pedig szeretném megköszönni édesanyámnak a rengeteg türelmet, áldozatot, bátorítást, segítséget az évek során