

**Therapieergebnisse nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)
im Vergleich zur Modified Maquet Procedure (MMP) nach Ruptur
des vorderen Kreuzbandes beim Hund**

von Daniela Eberle

Inaugural-Dissertation zur Erlangung der Doktorwürde
der Tierärztlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität
München

**Therapieergebnisse nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)
im Vergleich zur Modified Maquet Procedure (MMP) nach Ruptur
des vorderen Kreuzbandes beim Hund**

von Daniela Eberle
aus Esslingen am Neckar

München, 2017

Aus dem Zentrum für Klinische Tiermedizin der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München

Lehrstuhl für Chirurgie der Kleintiere

Arbeit angefertigt unter der Leitung von: Univ.-Prof. Dr. Andrea
Meyer-Lindenberg

Mitbetreuung durch: Dr. Stephanie Steigmeier-Raith

**Gedruckt mit der Genehmigung der Tierärztlichen Fakultät
der Ludwig-Maximilians-Universität München**

Dekan: Univ.-Prof. Dr. Reinhard K. Straubinger, Ph.D.

Berichterstatter: Univ.-Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Stefan Unterer

Tag der Promotion: 29.07.2017

Meiner Familie

Wenn man einen hungrigen Straßenhund aufpäppelt, wird er einen nicht beißen.
Darin liegt der größte Unterschied zwischen Mensch und Hund.

Mark Twain

INHALTSVERZEICHNIS

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	XIII
1. EINLEITUNG	1
2. LITERATURÜBERSICHT	2
2.1. Anatomie des Kniegelenks.....	2
2.2. Funktionelle Anatomie und Biomechanik.....	5
2.3. Ätiologie und Pathogenese der vorderen Kreuzbandruptur und Meniskopathie	7
2.4. Diagnosedstellung vordere Kreuzbandruptur und Meniskopathie.....	12
2.4.1. Klinische Untersuchung	12
2.4.2. Bildgebende Untersuchungsverfahren	16
2.4.2.1. Röntgen	16
2.4.2.2. Ultrasonografische Untersuchung.....	17
2.4.2.3. Magnetresonanztomografie (MRT).....	18
2.4.3. Arthroskopie.....	21
2.5. Therapie der vorderen Kreuzbandruptur.....	22
2.5.1. Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO).....	23
2.5.2. Tibial Tuberosity Advancement (TTA)	30
2.5.3. Modifikationen der TTA: Modified Maquet Technique (MMT) und Modified Maquet Procedure (MMP).....	34
2.6. Studien zum Vergleich zweier OP-Techniken	42
2.7. Ganganalyse	45
2.7.1. Statik.....	46
2.7.2. Dynamik.....	47
2.7.3. Zeitlicher Ablauf des Ganges	47
2.7.4. Kinetik.....	48
2.7.5. Kinematik.....	49
3. MATERIAL UND METHODEN	52
3.1. Patienten.....	52

3.2.	Untersuchungsablauf.....	52
3.2.1.	Klinisch-orthopädische Untersuchung	52
3.2.2.	Röntgen	55
3.2.3.	MRT-Untersuchung	58
3.2.4.	Die computergestützte Ganganalyse	59
3.3.	Vorbereitung der Patienten vor dem operativen Eingriff.....	64
3.4.	TPLO.....	65
3.5.	MMP.....	69
3.6.	Nachsorge der Patienten und Kontrolluntersuchungen.....	74
3.7.	Komplikationen.....	74
3.8.	Statistik.....	75
4.	ERGEBNISSE	77
4.1.	Patienten.....	77
4.2.	Klinisch-orthopädische Untersuchung	79
4.2.1.	Muskelatrophie.....	86
4.2.2.	Meniskusklick	86
4.3.	Komplikationen.....	87
4.4.	Radiologische Untersuchung.....	91
4.5.	Ganganalyse	92
4.5.1.	Kinetik.....	92
4.5.1.1.	Kontrollgruppe	92
4.5.1.2.	Peak Vertical Force (PVF)	92
4.5.1.3.	Vertical Impulse (VI)	95
4.5.1.4.	Standphasendauer (SD).....	98
4.5.1.5.	Effektgrößen und Mittelwertvergleich für PVF und VI.....	100
4.5.1.6.	Lahmheitsbeurteilung bei der Abschlusskontrolle.....	102
4.5.2.	Kinematik – „Range of Motion“	104
4.5.2.1.	Kontrollgruppe	104
4.5.2.2.	Hüfte ROM.....	104
4.5.2.3.	Knie ROM.....	107
4.5.2.4.	Tarsus ROM.....	110
5.	DISKUSSION	113

6.	ZUSAMMENFASSUNG	126
7.	SUMMARY	129
8.	LITERATURVERZEICHNIS	132
9.	ANHANG	154
9.1.	Abbildungsverzeichnis	154
9.2.	Tabellenverzeichnis	158
9.3.	Tabellen	160
10.	DANKSAGUNG	162

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

A.	Arteria
Abb.	Abbildung
BG	Belastungsgrad
CTT	Cranial Tibial Thrust, kranialer Tibiavorschub
CTWO	Cranial Tibial Wedge Osteotomy, kraniale Tibiakeilosteotomie
et al.	et alii/et aliae, und andere
ggf.	gegebenenfalls
i. m.	intramuskulär
i. v.	intravenös
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
Lig.	Ligamentum
M.	Musculus
MMP	Modified Maquet Procedure, Modifizierte Maquet Prozedur
MMT	Modified Maquet Technique, Modifizierte Maquet Technik
MRT	Magnetresonanztomografie
N.	Nervus
PDFs	Protonendichte-Wichtung mit Fettsaturation (Fettunterdrückung)
PVF	Peak Vertical Force, vertikale Spitzenkraft
ROM	Range of Motion, Bewegungsumfang
SD	Standphasendauer
Tab.	Tabelle
TPA	Tibial Plateau Angle, Tibiaplateauwinkel
TPLO	Tibial Plateau Leveling Osteotomy Umstellungsosteotomie des Tibiaplateaus
TR	TightRope®-Technik
TOO	Time of Occurrence
TTA	Tibial Tuberosity Advancement Tibiaosteotomie mit Vorverlagerung der Tuberositas tibiae
VI	Vertical Impulse, vertikaler Impuls
z. B.	zum Beispiel

1. EINLEITUNG

Eine Ruptur des kranialen Kreuzbandes stellt die häufigste Ursache für eine Hinterhandlahmheit beim Hund dar (JOHNSON et al. 1994, CORR 2009). Sie führt zu einer Instabilität im Kniegelenk und zu einer kranialen tibialen Subluxation (KIM et al. 2010). In den letzten Jahrzehnten wurde eine Vielzahl von verschiedenen Operationsmethoden entwickelt, um diese Erkrankung zu therapieren und bestmöglich die Gliedmaßenfunktion wiederherzustellen (DEANGELIS und LAU 1970, PACCHIANA et al. 2003, ARAGON und BUDSBERG 2005, KIM et al. 2008, AU et al. 2010). Diese Vielzahl an neu entwickelten Methoden zeigt, dass es sich bisher als schwierig gestaltete, eine Methode zu entwickeln, die allen anderen klar überlegen ist (ARAGON und BUDSBERG 2005, KIM et al. 2008, AU et al. 2010).

Die 1993 von SLOCUM und SLOCUM vorgestellte "Tibial Plateau Leveling Ostectomy" (TPLO) galt lange als die ideale Behandlungsmethode und wurde deshalb von vielen Chirurgen durchgeführt (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993, JERRAM und WALKER 2003, HARASEN 2004a, HARASEN 2004b, CONZEMIUS et al. 2005, VAUGHAN 2010). Im Jahr 2002 führten MONTAVON und TEPIC mit der "Tibial Tuberosity Advancement" (TTA) eine neue dynamische Stabilisierungsmethode ein, die auf einem anderen biomechanischen Prinzip beruht (MONTAVON et al. 2002, TEPIC et al. 2002). Ein paar Jahre später wurde die "Modified Maquet Procedure" (MMP) entwickelt, die auf dem gleichen biomechanischen Prinzip wie die TTA aufbaut, bei der aber ein neues Implantat, ein Titanschaumkeil, als Platzhalter in die Tibia eingesetzt wird (NESS 2011, NESS 2016). Die Entwickler der MMP nennen als Vorteile, dass sie widerstandsfähiger ist als die TTA, die OP-Zeit kürzer ist, sie auch von einem weniger erfahrenen Operateur durchgeführt werden kann und dass die präoperative Planung einfacher ist (NESS 2011, NESS 2016).

Da noch fast keine Literatur zu dieser neuen OP-Methode existiert, war das Ziel dieser Arbeit, die MMP mit einer seit langem etablierten und häufig angewendeten OP-Methode, der TPLO, zu vergleichen. Um objektive klinische Ergebnisse zu erhalten, wurde die laufbandgestützte Ganganalyse zum Vergleich herangezogen.

2. LITERATURÜBERSICHT

2.1. Anatomie des Kniegelenks

Zur Beschreibung der anatomischen Verhältnisse werden im Folgenden verschiedene Lehrbücher herangezogen (NICKEL et al. 2004, NICKEL et al. 2005, FOSSUM 2009, KÖNIG und LIEBICH 2015). Die folgende Beschreibung stellt eine grobe Übersicht dar, Genaueres kann in den genannten Lehrbüchern nachgelesen werden.

Beim Kniegelenk (*Articulatio genus*) handelt es sich um ein zusammengesetztes, inkongruentes, unvollkommenes Wechselgelenk. Es besteht aus dem Kniekehlgelenk (*Articulatio femorotibialis*) und dem Kniescheibengelenk (*Articulatio femoropatellaris*). Im Kniekehlgelenk artikulieren die *Condyli ossis femoris* mit der ebenen *Facies articularis* der Tibia, welche durch die *Eminentia intercondylaris* unterteilt wird. Die Inkongruenz der gegenüberliegenden Gelenkflächen wird durch die beiden Menisken ausgeglichen, die zugleich als Puffer dienen. Für den Ansatz der Seitenbänder gibt es an den beiden abaxialen Flächen der Femurkondylen den *Epicondylus lateralis* und *medialis*. Die kaudale Fläche der beiden Kondylen besitzt je eine kleine, ebene Gelenkfläche zur Artikulation mit den *Fabellae*. Kranial an der Tibia erhebt sich die *Tuberositas tibiae*, an der das *Lig. patellae* inseriert. Die *Eminentia intercondylaris* wird durch eine kleine Zwischenfläche, die *Area intercondylaris centralis* in das *Tuberculum intercondylare laterale* und *mediale* geteilt. Kranial der *Eminentia intercondylaris* liegen die *Area intercondylaris cranialis* und *caudalis* als Ansatzstelle der Kreuzbänder. Durch den kranial liegenden *Margo cranialis* wird die Tibia in eine laterale, muskeltragende und in eine mediale, muskelfreie Fläche unterteilt. Lateral liegt der Tibia die deutlich schwächere Fibula an. Das Kniescheibengelenk ist ein Schlittengelenk, in welchem die Kniescheibe (*Patella*) mit der Kniescheibenrolle (*Trochlea ossis femoris*) artikuliert.

Die weite Gelenkkapsel heftet sich mit ihrer äußeren *Membrana fibrosa* an den konvexen Außenrändern der Menisken und an den Gelenkrändern der beteiligten Knochen an und umschließt damit vollständig beide Kondylenpaare. Die innere *Membrana synovialis* schiebt sich zwischen die Gelenkfortsätze und grenzt dadurch je eine Gelenkhöhle im Bereich des lateralen und des medialen

Kondylenpaares ab. Die beiden Gelenkhöhlen stehen miteinander in offener Verbindung. Durch die Einlagerung der Menisken zwischen die Knochenenden gibt es je eine proximale und eine distale Abteilung, die am zentralen Meniskusrand eine Verbindung haben. Die mediale Gelenkhöhle kommuniziert dorsal mit der Kniescheibengelenkhöhle.

Die Menisken (*Menisci articulares*) sind lateral und medial zwischen die gegenüberliegenden Gelenkflächen von Femur und Tibia eingeschoben. Sie sind mandarinenförmig und haben einen scharfen, konkaven Innenrand und einen dicken, konvexen Außenrand. Der mediale Meniskus besitzt an seiner abaxialen Seite sowohl eine Verbindung mit der Gelenkkapsel als auch mit dem *Lig. collaterale mediale*. Das *Lig. collaterale laterale* wird durch die Ursprungssehne des *M. popliteus* vom lateralen Meniskus getrennt. Das *Lig. tibiale craniale* *menisci lateralis* und *medialis* verbindet den kranialen Rand des jeweiligen Meniskus mit der lateralen bzw. medialen *Area intercondylaris cranialis tibiae*. Kranial werden die beiden Menisken über das *Lig. transversum genus* miteinander verbunden. Am kaudalen Rand der Menisken entspringen das *Lig. tibiale caudale* *menisci lateralis* und *medialis*. Das des lateralen Meniskus zieht zur *Incisura poplitea tibia*, das des medialen zur *Area intercondylaris caudalis tibiae*. Der kaudale Rand des lateralen Meniskus wird außerdem über das *Lig. meniscofemorale* an der *Area intercondylaris* des *Condylus medialis ossis femoris* befestigt.

Die Seitenbänder, *Ligamenta collateralia*, verbinden als kräftige Faserbündel die Bandhöcker des Femurs mit denen der Tibia bzw. Fibula. Die Kreuzbänder, *Ligamenta cruciata genus*, befinden sich zentral im Kniekehlgelenk zwischen den beiden Synovialhäuten. Somit liegen die beiden Kreuzbänder intrakapsulär, aber extrasynovial. Das *Lig. cruciatum craniale* entspringt in der *Fossa intercondylaris* des lateralen Femurkondylus, zieht mediodistal und inseriert in der *Area intercondylaris centralis tibiae*. Das vordere Kreuzband besteht aus einem kleineren kranio-medialen und einem etwas größeren kaudolateralen Bündel. Das *Lig. cruciatum caudale* zieht von der *Fossa intercondylaris* des medialen Femurkondylus zur *Incisura poplitea* und zur *Area intercondylaris centralis* der Tibia. Es ist wie das vordere Kreuzband auch in 2 funktionelle Einheiten unterteilt, es gibt einen größeren kranialen Anteil und einen kleineren kaudalen.

Zu den Bändern des Kniescheibengelenks gehören die *Retinacula patellae* und das

Lig. patellae. Die Retinacula patellae sind Faszienv Verstärkungen und dienen der Fixierung der Kniescheibe am Oberschenkel. Das Lig. patellae ist die Endsehne des M. quadriceps femoris, in welche die Patella als Sesambein eingelagert ist. Es ist die einzige Bandverbindung zwischen der Kniescheibe und dem Proximalende der Tibia.

Die Muskeln im Bereich des Kniegelenks haben eine wichtige Funktion bei der Bewegung und der dynamischen Stabilisierung. Der M. quadriceps femoris ist der stärkste Strecker des Kniegelenks und trägt außerdem zu dessen Stabilität bei. Der M. popliteus ist ein Beuger des Kniegelenks und ein Pronator des Unterschenkels. Außerdem gibt es Muskeln, die zwar nicht direkt am Kniegelenk lokalisiert sind, aber indirekt eine funktionelle Rolle spielen. Die kraniale Portion des M. biceps femoris fungiert als Strecker des Hüft- und Kniegelenks, die kaudale als Beuger des Kniegelenks. Der M. semitendinosus ist in der Stützbeinphase ein Strecker des Kniegelenks, in der Hangbeinphase ein Beuger des Kniegelenks und ein Ein- und Rückwärtsführer der Gliedmaße. Der M. semimebranosus ist in der Stützbeinphase ebenfalls ein Strecker des Kniegelenks, in der Hangbeinphase ein Rückwärts- und Einwärtsdreher sowie Pronator der Gliedmaße. Der M. gracilis wirkt als kräftiger Adduktor der Gliedmaße und als Strecker des Kniegelenks bei festgestellter Gliedmaße. Der M. sartorius fungiert als Kniegelenksstrecker. Der M. gastrocnemius, in dessen Caput laterale und Caput mediale jeweils ein Vesalisches Sesambein (Fabella) eingelagert ist, ist ein Beuger des Kniegelenks.

Die Innervation des Kniegelenks geht teilweise vom Plexus lumbalis und teilweise vom Plexus sacralis aus. Für den medialen Anteil des Gelenks ist hauptsächlich der N. saphenus zuständig, für den lateralen der N. tibialis.

Die A. poplitea ist das Ursprungsgefäß für die meisten Kniegelenksarterien. Die aus ihr entspringenden Aa. genus proximales bzw distales laterales und mediales ziehen an die jeweiligen Seiten des Kniegelenks, die ebenfalls aus ihr entspringende A. genus media zwischen die beiden Kniegelenkssäcke. Gemeinsam mit der A. genus descendens bilden sie das Rete articulare genus und das Rete patellae. Die A. genus descendens, die gemeinsam mit der A. saphena aus der A. femoralis entspringt, versorgt die medialen Bereiche des Kniescheiben- und Kniekehlgelenks und das Corpus adiposum infrapatellare. Die A. caudalis femoris distalis, die aus der A. femoralis kurz vor deren Übergang in die A. poplitea hervorgeht, versorgt die laterale Seite des Kniegelenks.

2.2. Funktionelle Anatomie und Biomechanik

Das Kniegelenk lässt aufgrund seiner anatomischen Gegebenheiten hauptsächlich Streck- und Beugebewegungen in der sagittalen Ebene zu (NICKEL et al. 2004, TOBIAS und JOHNSTON 2012). Aufgrund der Einschränkungen durch die Kollateralbänder, die Kreuzbänder, die Menisken und die nockenförmigen Femurkondylen sind jedoch nicht nur strikt uniplanare Bewegung möglich, sondern auch Rotationsbewegungen (ARNOCZKY 1993).

Weil die Femurkondylen nocken- und nicht kugelförmig sind, tritt in der Sagittalebene in Extension und Flexion ein gewisser Grad an kraniokaudaler Translation der Tibia gegen den Femur auf (ARNOCZKY et al. 1977b). In Flexion gleiten die Femurkondylen kaudal gegen die Tibiakondylen und in Extension kranial gegen diese. In der Frontalebene kann das Kniegelenk eine leichte Varus- (mediale) oder Valgusstellung (laterale) aufweisen (MONAHAN et al. 1984). In maximaler Extension limitiert das mediale Kollateralband die Valgusstellung und das laterale Kollateralband zusammen mit dem vorderen Kreuzband die Varusstellung. Wenn der Kniegelenkwinkel 90° beträgt, beschränken alle 4 femorotibialen Bänder die Valgusstellung, während das laterale Kollateralband, das vordere und hintere Kreuzband die Varusstellung limitieren.

Zusätzlich zu den Einschränkungen durch Knochen und Bänder wird eine exzessive Gelenkbewegung durch ein komplexes System von Reflexbögen verhindert, die eine Modulation der großen Muskelgruppen rund um das Kniegelenk durch eine Reihe von Mechanorezeptoren und Propriozeptoren beinhaltet (SOLOMONOW et al. 1987, ARCAND et al. 2000). Gelenkbelastungen, die eine erhöhte Spannung des vorderen Kreuzbandes bewirken, resultieren in einer zeitgleichen Kontraktion der kaudalen Oberschenkelmuskeln und einer Relaxation des M. quadriceps femoris (SOLOMONOW et al. 1987). Dies ist ein schützender Feedback-Mechanismus, da beim Menschen festgestellt wurde, dass die Kontraktion des M. quadriceps femoris die Spannung des kranialen Kreuzbandes erhöht, die Kontraktion der kaudalen Oberschenkelmuskulatur aber reduziert sie (SOLOMONOW et al. 1987, MIYATSU et al. 1993).

Das kraniale Kreuzband ist der primäre Stabilisator im Kniegelenk, der der kranialen Translation der Tibia gegen den Femur (kraniale Schublade) und einer

Hyperextension entgegenwirkt (ARNOCZKY und MARSHALL 1977a, HEFFRON und CAMPBELL 1978). Das kraniale und das kaudale Kreuzband winden sich umeinander, um eine Innenrotation zu verhindern, aber keines der beiden Bänder verhindert die Außenrotation (ARNOCZKY und MARSHALL 1977a). Wie vorher bereits beschrieben spielen die beiden Bänder in der Begrenzung von Varus- und Valgusstellung ebenfalls eine Rolle (MONAHAN et al. 1984). Die makroskopisch sichtbaren Fasern des kranialen Kreuzbandes ziehen sich durch die gesamte Länge des Bandes ohne zu kreuzen oder sich zu verflechten (CLARK und SIDLES 1990), dadurch ist jedes einzeln in der Lage, sich während eines gesamten Bewegungsumfanges zu straffen und zu relaxieren (WELSH 1980). Nichtsdestotrotz kommt es durch die Windung des vorderen Kreuzbandes zu einer groben Erscheinung von zwei sehr unterschiedlichen Bündeln mit unterschiedlichen Funktionen, dies wird vor allem in Flexion deutlich (ARNOCZKY und MARSHALL 1977a). Das kraniomediale Bündel ist in Flexion und Extension gespannt und steht somit primär der kranialen Translation der Tibia entgegen. Das kaudolaterale Bündel ist in Extension gespannt und erschlafft in Flexion, wirkt also nur sekundär der kranialen Tibiatranslation entgegen. Das kaudale Kreuzband verhindert primär die kaudale Translation der Tibia gegen den Femur (kaudale Schublade), außerdem hilft es, die Innenrotation der Tibia zu verhindern, indem es sich mit dem kranialen Kreuzband verdrillt (ARNOCZKY und MARSHALL 1977a, HEFFRON und CAMPBELL 1978). Es umfasst ein dickeres kraniales Bündel, das in Flexion gespannt ist und in Extension erschlafft und ein dünneres kaudales Bündel, das in Extension gespannt ist und in Flexion erschlafft (ARNOCZKY und MARSHALL 1977a). Außerdem ist das kaudale Kreuzband der zweite Gegenspieler der Hyperextension (ARNOCZKY und MARSHALL 1977a) und begrenzt mit die Varus- und Valgusstellung (MONAHAN et al. 1984).

Die Menisken haben verschiedene, bedeutende Funktionen im Kniegelenk. Sie helfen bei der Lastaufnahme und -verteilung, fungieren als Stoßdämpfer und tragen zur Gelenkstabilität bei, indem sie die Kongruenz des Gelenks bewirken (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Ihre halbmondförmige Struktur ist ideal, um als Platzhalter zwischen Femur und Tibia zu sitzen. Wenn keine kompressive Gewichtsbelastung auf das Gelenk einwirkt, verhindern sie den Kontakt zwischen den beiden Gelenkflächen. Im Stand nehmen die Menisken einen Großteil des

Gewichtes auf. Wird das Gelenk belastet, erhöht sich der Kontakt zwischen den Femurkondylen und den Menisken. Die dadurch vergrößerte Kontaktfläche mindert den Stress zwischen Tibia und Femur und schützt dadurch vor mechanischen Schäden von Chondrozyten und extrazellulärer Matrix (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Medialer und lateraler Meniskus nehmen zusammen etwa 40–70 % der Last des Kniegelenks auf (KRAUSE et al. 1976). Zur Gelenkstabilität tragen die Menisken bei, indem sie die Kongruität des femorotibialen Gelenks erhöhen (POZZI et al. 2006). Die Menisken passen sich mit ihrer konkaven Seite der Konvexität des Tibiaplateaus an. Dieser Effekt wird offensichtlich, wenn man bedenkt, dass die Menisken funktionell die Neigung des Tibiaplateaus senken, indem das prominente Kaudalhorn den kaudalen Teil des Tibiaplateaus anhebt. Wenn Kompressionskräfte auf das Knie einwirken, können die Menisken durch Elongation Energie absorbieren, indem sie sich nach außen ausdehnen und sich ihre zirkumferent angeordneten Kollaganfasern ausweiten (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Ihre kaudalen und kranialen Anheftungen an die Tibia spielen hierbei eine wichtige Rolle, da sie die Kräfte auf die Tibia übertragen.

Verschiedene Muskeln spielen ebenfalls eine Rolle bei der Stabilisierung des Kniegelenks. Es hat sich gezeigt, dass der M. semimembranosus, der M. semitendinosus und der M. biceps femoris durch eine kaudale Zugrichtung der proximalen Tibia bei Kontraktion als Agonisten des kranialen Kreuzbandes wirken, der M. gastrocnemius und der M. quadriceps femoris hingegen als Antagonisten des kranialen Kreuzbandes wirken (DRAGANICH und VAHEY 1990, KANNO et al. 2012).

2.3. Ätiologie und Pathogenese der vorderen Kreuzbandruptur und Meniskopathie

Die Ruptur des kranialen Kreuzbandes bei Hunden ist die häufigste Ursache für degenerative Veränderungen im Kniegelenk und für eine Hinterhandlahmheit beim Hund (JOHNSON und JOHNSON 1993, HARASEN 2008, CORR 2009). Die Ätiologie und Pathogenese des vorderen Kreuzbandrisses ist noch nicht vollständig geklärt und wird kontrovers diskutiert. Es wird angenommen, dass eine Degeneration des vorderen Kreuzbandes vorliegt und in diesen Fällen ein

Bagateltrauma ausreicht, dass die Fasern des vorderen Kreuzbandes reißen (COMERFORD et al. 2011).

Für die Rassen Rottweiler, Neufundländer, Staffordshire Terrier, Bulldogge, Chesapeake Bay Retriever, Chow-Chow, Labrador Retriever, Boxer, Pudel und Bernhardiner wird eine Rasseprädisposition angenommen, da bei ihnen sehr häufig ein vorderer Kreuzbandriss auftritt (BRUNNBERG 1990, WHITEHAIR et al. 1993, WITSBERGER et al. 2008). Für den Neufundländer konnte eine genetische Prädisposition nachgewiesen werden (WILKE et al. 2006, WILKE et al. 2009, BAIRD et al. 2014). BAIRD et al. (2014) fanden Unterschiede in den Genomen von europäischen und nordamerikanischen Neufundländern und identifizierten die drei chromosomalen Hauptregionen, die mit der Vererbung des kranialen Kreuzbandrisses in Zusammenhang stehen auf Chromosom 33,1 und 3. Weibliche Hunde sind öfter betroffen als männliche (WHITEHAIR et al. 1993) und kastrierte Hunde öfter betroffen als unkastrierte Hunde (WHITEHAIR et al. 1993, WILKE et al. 2009). In einer Studie waren nur kastrierte Rüden bzw. kastrierte Hündinnen von einem vorderen Kreuzbandriss betroffen (TORRES DE LA RIVA et al. 2013). Bezüglich des Alters zum Zeitpunkt der Diagnosestellung des Kreuzbandrisses gibt es unterschiedliche Angaben. Alle Studien bestätigen jedoch, dass größere Rassen früher an einem Kreuzbandriss erkranken als kleinere Rassen (WHITEHAIR et al. 1993, WITSBERGER et al. 2008, KNEBEL und MEYER-LINDENBERG 2014).

Die Theorie, dass das Risiko eines kranialen Kreuzbandrisses bei Hunden mit einer immunmedierten Degeneration verbunden ist, also mit dem Haupthistokompatibilitätskomplex („Major Histocompatibility Complex“, MHC-Komplex) in Verbindung steht, wurde für die Rassen Labrador Retriever und Golden Retriever durch DNA-Tests widerlegt, indem Populationen mit vorderem Kreuzbandriss mit der Gesamtpopulation dieser Rassen verglichen wurden (CLEMENTS et al. 2011). Beschrieben ist aber eine herabgesetzte Zelldichte im Inneren von rupturierten vorderen Kreuzbändern, die mit einer chondroiden Umwandlung der Zellen und Störungen in der Bandmatrix einhergeht (HAYASHI et al. 2003a, HAYASHI et al. 2003b). Dieser Verlust an Zellen, entweder durch Apoptose oder durch Nekrose, kann dazu führen, dass die Integrität der extrazellulären Matrix nicht aufrechterhalten werden kann, wenn sie nicht wieder ersetzt werden. Mit Kaspase-3 als Marker für Apoptose fand man signifikant mehr

apoptotische Zellen in rupturierten als in intakten vorderen Kreuzbändern (GYGER et al. 2007). KRAYER et al. (2008) kombinierten Kaspase-3 und Poly (ADP-Ribose) Polymerase und fanden keine Unterschiede in der Menge von apoptotischen Zellen zwischen den intakten und den zerrissenen Bereichen von partiell gerissenen vorderen Kreuzbändern und vollständig gerissenen vorderen Kreuzbändern. Zwischen dem Grad der Synovitis oder der Osteophytenproduktion und der Menge an apoptotischen Zellen bestand wiederum kein Zusammenhang (KRAYER et al. 2008) Diese Studien sprechen dafür, dass Apoptose ein intrinsischer ätiopathogenetischer Faktor sein könnte, der zu einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes führt (COMERFORD et al. 2011). Histologisch bestehen viele Unterschiede zwischen intakten Kreuzbändern und rupturierten Kreuzbändern (HAYASHI et al. 2003a, HAYASHI et al. 2003b). Bei rupturierten Kreuzbändern ist die Anzahl normaler ovoider und spindelförmiger Ligamentoblasten reduziert und es kommt zu einer metaplastischen Umwandlung derer in Chondrozyten. Dadurch kommt es zu einer progressiven Zerstörung der normalen Struktur der Kollagenfasern in der extrazellulären Matrix und die zerrissene Extrazelluläre Matrix hat eine amorphe, glatte Oberfläche. Außerdem wurde herausgefunden, dass die Anzahl an Tartrate-beständigen sauren Phosphatasen und Kathepsin K in Zellen der Synovialmembran von rupturierten Kreuzbändern signifikant höher ist als in der Synovialmembran von intakten Kreuzbändern (MUIR et al. 2002, MUIR et al. 2005).

Ätiopathologisch spielen außerdem anatomische Besonderheiten eine Rolle, so werden eine enge interkondyläre „Notch“ (COMERFORD et al. 2006), ein sehr steiler Tibiaplateauwinkel (MORRIS und LIPOWITZ 2001, SELMI und PADILHA FILHO 2001, DUERR et al. 2007) und ein Genu varum mit der damit verbundenen Innenrotation der Tibia (GRIFFON 2010) als prädisponierende Faktoren für eine kraniale Kreuzbandruptur gesehen. Kniegelenke mit einer medialen Patellaluxation sind ebenfalls prädisponiert für eine Ruptur des kranialen Kreuzbandes, da in diesen Fällen das Lig. patellae nach medial verlagert ist und somit der kraniale Vorschub der Tuberositas tibia nicht mehr verhindert wird (GIBBONS et al. 2006). DENNLER et al. (2006) und SCHWANDT et al. (2006) beschäftigen sich mit dem Winkel zwischen dem Tibiaplateau und dem Lig. patellae. Sie fanden heraus, dass dieser Winkel bei Hunden mit Kreuzbandruptur größer ist als bei nicht betroffenen Hunden. Bei einem größeren

Winkel steht das kraniale Kreuzband während der gewichtstragenden Phase eines Schrittes unter einer größeren Krafteinwirkung, was zu einer Degeneration desselben führen könnte. In einer radiologisch-anatomischen Studie fanden INAUEN et al. (2009) heraus, dass gesunde Hunde eine größere Breite der Tuberositas tibiae, einen kleineren proximalen Tuberositas-tibiae-Winkel und außerdem ein kleineres Verhältnis von diaphysärem Tibiadurchmesser zur Breite der Tuberositas tibiae aufweisen als Hunde mit einem vorderen Kreuzbandriss.

Studienabhängig schwankt die Anzahl von Hunden, die einen bilateralen Kreuzbandriss erleiden, zwischen 21,0 % und 61,3 % (BENNETT et al. 1988, DOVERSPIKE et al. 1993, CABRERA et al. 2008, VOSS et al. 2008, BUOTE et al. 2009, HULSE et al. 2010, GRIERSON et al. 2011), was wiederum für eine degenerative Erkrankung spricht.

Der mediale und laterale Meniskus sind halbrunde, fibrocartilaginöse Strukturen, die sich zum Ausgleich der Inkongruenz auf der medialen und lateralen Oberfläche des Tibiaplateaus befinden und sie tragen zur Stabilität im Kniegelenk bei, außerdem unterstützen sie das Gelenk bei der Kraftaufnahme und –übertragung und verringern die Reibung (CASE et al. 2008). Im Gegensatz zum Menschen sind Läsionen des Meniskus beim Hund hauptsächlich eine Folge der Instabilität im Kniegelenk, die durch eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes entsteht, die Angaben zur Inzidenz von Meniskusläsionen bei Hunden mit einer vorderen Kreuzbandruptur reichen von 33,2 % (FITZPATRICK und SOLANO 2010) über 37,5 % (CASALE und MCCARTHY 2009), 47,5 % (METELMAN et al. 1995), 49 % (BENNETT und MAY 1991) bis hin zu 77 % (TIMMERMANN et al. 1998, RALPHS und WHITNEY 2002). Diese Zahlen sind allerdings abhängig vom Zeitpunkt der Ruptur des kranialen Kreuzbandes und dem Zeitpunkt der Versorgung desselben zu sehen. Isolierte Meniskusläsionen, die ohne Ruptur des vorderen Kreuzbandes auftreten, sind sehr selten. 2 Fälle von isolierter Läsion des lateralen Meniskus sind bei Boxer und Labrador Retriever nach Trauma beschrieben (HULSE und JOHNSON 1988) und es gibt 1 Fall eines Korbhenkelrisses des medialen Meniskus bei einem Border Collie ohne Traumavorbericht (RIDGE 2006).

Meniskusläsionen treten häufiger bei vollständigen vorderen Kreuzbandrupturen auf als bei partiellen (ADAMS und MUIR 1981, RALPHS und WHITNEY 2002, FITZPATRICK und SOLANO 2010, HAYES et al. 2010). Der mediale Meniskus

ist außerdem häufiger betroffen als der laterale, weil der mediale Meniskus über das Kollateralband und die Gelenkkapsel fest mit dem Tibiaplateau verbunden ist und sich deshalb bei kraniokaudaler Translokation der mediale Femurkondylus auf das Kaudalhorn des medialen Meniskus bewegt (BENNETT und MAY 1991, METELMAN et al. 1995, CASE et al. 2008, CASALE und MCCARTHY 2009, FITZPATRICK und SOLANO 2010). Durch die kompressiven Gelenkkräfte kann es so zu einem Quetschen oder Zerreißen des Hinterhorns des medialen Meniskus kommen. Im Gegensatz dazu ist der laterale Meniskus mit dem Femur durch das Lig. menisiofemorale verbunden und dadurch wird die Position des Hinterhorns des lateralen Meniskus relativ zum lateralen Femurkondylus gehalten, auch bei kraniokaudaler Translokation. In einer Kadaverstudie wurde die Krafteinwirkung auf das kraniale und kaudale Horn des medialen Meniskus mit intaktem und anschließend mit rupturiertem vorderen Kreuzband untersucht (MESSMER et al. 2001). Mit intaktem vorderen Kreuzband erfuhr der Bereich unter dem Kranialhorn die meiste Krafteinwirkung, wenn sich das Gelenk in Extension befand, der Bereich unter dem Kaudalhorn, wenn sich das Gelenk in Flexion befand. Die Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes führte zu einer Erhöhung der Krafteinwirkung unter beiden Hörnern des medialen Meniskus, die größte Veränderung aber gab es im Bereich unter dem Kaudalhorn. Deshalb nehmen MESSMER et al. (2001) an, dass der mediale Meniskus eine große Rolle bei der Stabilisierung des kreuzbandinsuffizienten Kniegelenks spielt. Histologisch weisen makroskopisch noch normale Menisken aus kreuzbandinsuffizienten Kniegelenken bereits Unterschiede zu Menisken aus Kniegelenken ohne Kreuzbandpathologie auf (JACKSON et al. 2001).

In einer Untersuchung von HAYES et al. (2010) hatten insgesamt 36,3 % der Hunde zum Zeitpunkt der OP zur Korrektur eines kranialen Kreuzbandrisses einen medialen Meniskusschaden, wobei 52,6 % aller Hunde mit einem kompletten Kreuzbandriss einen medialen Meniskusschaden zeigten und nur 10,1 % aller Hunde mit einem partiellen Kreuzbandriss. Das Risiko für die Hunde war somit 12,9-mal höher mit einem vollständigen Kreuzbandriss einen Meniskusschaden zu erleiden als mit einem partiellen. Die Autoren empfahlen eine Versorgung des vorderen Kreuzbandrisses so schnell wie möglich, da sich das Risiko für eine mediale Meniskusläsion bei einem Kreuzbandschaden pro Woche um etwa 2,6 % erhöht. Ein weiterer Risikofaktor für einen medialen

Meniskusschaden ist Übergewicht, da sich das Risiko pro zusätzlichem kg Körpergewicht um etwa 1,4 % erhöht (HAYES et al. 2010).

Obwohl Meniskusläsionen häufig gemeinsam mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes diagnostiziert werden, können sie auch als Spätfolgen nach nicht stabiler chirurgischer Versorgung der kranialen Kreuzbandruptur auftreten, wenn der Meniskus zum Zeitpunkt der OP noch intakt war (METELMAN et al. 1995, HOFFMANN et al. 2006, THIEMAN et al. 2006, CORR und BROWN 2007, CASE et al. 2008, CASALE und MCCARTHY 2009). Über die Inzidenz von sogenannten sekundären Meniskusschäden findet man in der Literatur Angaben von 1,9 % bis 27,8 % (METELMAN et al. 1995, LAFAVER et al. 2007, STEIN und SCHMOEKEL 2008, CASALE und MCCARTHY 2009, ERTELT und FEHR 2009, CHRISTOPHER et al. 2013).

2.4. Diagnosestellung vordere Kreuzbandruptur und Meniskopathie

2.4.1. Klinische Untersuchung

Wichtig für die Diagnosestellung ist eine ausführliche Anamnese, des Weiteren werden eine genaue klinisch-orthopädische Untersuchung und bildgebende Verfahren angewendet. Schon bei einem partiellen Kreuzbandriss lässt sich in der klinischen Untersuchung bei maximaler Extension in der Regel eine Schmerzreaktion hervorrufen (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Ein auditiv wahrnehmbares „Klicken“ hängt von der Chronizität der Erkrankung ab und vom Vorhandensein einer Meniskusläsion. Bei chronischen Fällen kann man eine Atrophie des Musculus quadriceps beobachten, außerdem sieht man eine periartikuläre Fibrose auf der medialen Seite des Kniegelenks, den sogenannten „medial buttress“ (CORR 2009, TOBIAS und JOHNSTON 2012). Ein Gelenkerguss ist palpierbar, wenn sich das Lig. patellae medial und lateral nicht mehr klar abgrenzen lässt (Abb. 1).

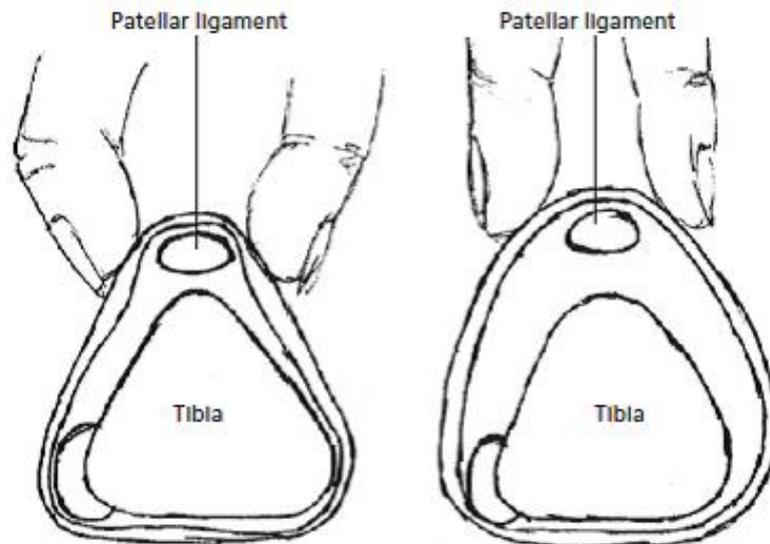


Abb. 1: Schematische Ansicht, die einen Transversalschnitt durch das Kniegelenk zeigt (aus CORR 2009). Bei einem gesunden Kniegelenk (links) kann das Lig. patellae als eine straffe, bleistiftartige Struktur palpirt werden, weil die Gelenkkapsel auf beiden Seiten nachgibt. Bei einem Gelenkerguss (rechts) kann man das Band nicht so klar abgrenzen, weil sich die vermehrt gefüllte Gelenkkapsel zu beiden Seiten auswölbt.

Hunde mit vorderem Kreuzbandriss sitzen häufig mit dem betroffenen Bein abgespreizt, sodass sich das Knie nicht in voller Flexion und Fersen- und Sitzbeinhöcker sich nicht in unmittelbarer Nähe zueinander befinden, man spricht dann von einem positiven Sitztest (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1998). Dies ist auch ein Parameter um den Erfolg einer Kreuzbandoperation zu messen. In akuten Fällen sollte nach 3 Monaten die physiologische Sitzposition wiedererlangt werden, in chronischen Fällen und in Abhängigkeit vom Vorliegen und der Stärke von Arthrosen kann es länger dauern oder es kann nie wieder eine volle Flexion im Kniegelenk erreicht werden.

Der Schubladentest oder das Schubladenphänomen ist einer der Hauptbestandteile in der Diagnosestellung einer Kniegelenksinstabilität (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Der Untersucher löst eine kraniokaudale Translokation aus, indem er Kraft auf die Tibia ausübt, während der Femur stabil gehalten wird. Der Daumen der einen Hand wird hinter der lateralen Fabella positioniert, der Zeigefinger der gleichen Hand liegt auf der Patella. Der Daumen der anderen Hand befindet sich hinter dem Fibulakopf und der Zeigefinger auf der Tuberositas tibiae. Die Tibia wird dann bestimmt nach kaudal und anschließend nach kranial geschoben (Abb. 2).

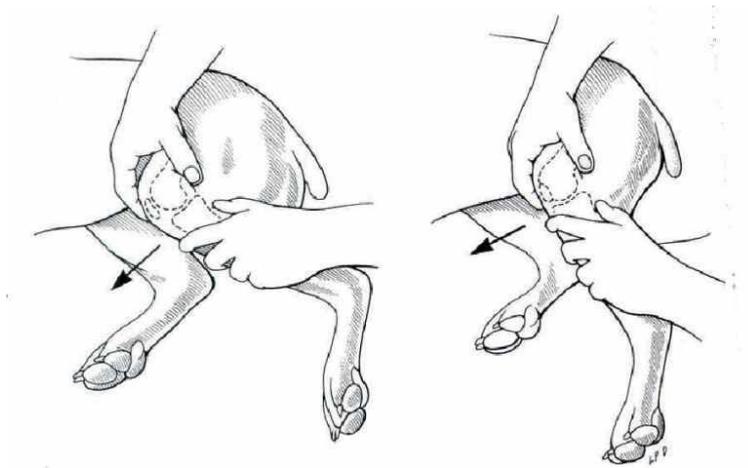


Abb. 2: Schubladenphänomen (aus FOSSUM 2009).

Jede mögliche Sagittalbewegung bei einem adulten Hund ist pathologisch (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Bei jüngeren Hunden ist ein gewisser Grad an Verschieblichkeit physiologisch. Wichtig für die Beurteilung einer Instabilität ist außerdem, dass der Test von maximaler Extension bis hin zur Flexion durchgeführt wird, weil er durch die gespannten Kollateralbänder in Flexion falsch negativ sein kann. CAROBBI und NESS (2009) fanden heraus, dass sich Sensitivität und Spezifität des Schubladentests zur Diagnose eines vorderen Kreuzbandrisses signifikant erhöhen, wenn sich die Patienten in Narkose befanden. Bei partiellen Kreuzbandrissen kann der Schubladentest positiv oder negativ sein. In der Studie von SCAVELLI et al. (1990) war er bei 52% der Hunde mit partiellem Kreuzbandriss positiv. Da das kraniale Kreuzband aus einem kraniomedialen und kaudolateralen Bündel besteht und das kraniomediale während der Flexion und der Extension gespannt ist, das kaudolaterale aber nur während der Extension, zeigen Hunde mit einer Ruptur des kaudolateralen Bündels kein vorderes Schubladenphänomen. Ist aber das kraniomediale Bündel rupturiert, zeigen die Hunde nur in Flexion ein vorderes Schubladenphänomen.

Der Tibiakompressionstest ist ein weiterer Test zur Überprüfung der Kniegelenksinstabilität (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Hier übt der Untersucher eine Kompressionskraft auf das Kniegelenk aus, die einen kranialen Tibiavorschub zur Folge hat, den „cranial tibial thrust“ (CTT). Ein gesundes vorderes Kreuzband wirkt dem Tibiavorschub entgegen, hingegen kommt es bei einer Ruptur zum kranialen Tibiavorschub. Der Zeigefinger der einen Hand wird auf die Tuberositas tibiae gelegt, Daumen, Mittelfinger und die übrigen Finger

derselben Hand werden genutzt um die Femurkondylen zu greifen und das Kniegelenk in Extension zu halten. Durch Beugung des Tarsalgelenks mit der anderen Hand, wird die Kontraktion des Musculus gastrocnemius simuliert. Verschiebt sich dabei die Tuberositas tibiae nach kranial gegen den darauf liegenden Zeigefinger, ist der Test als positiv zu werten (Abb. 3).

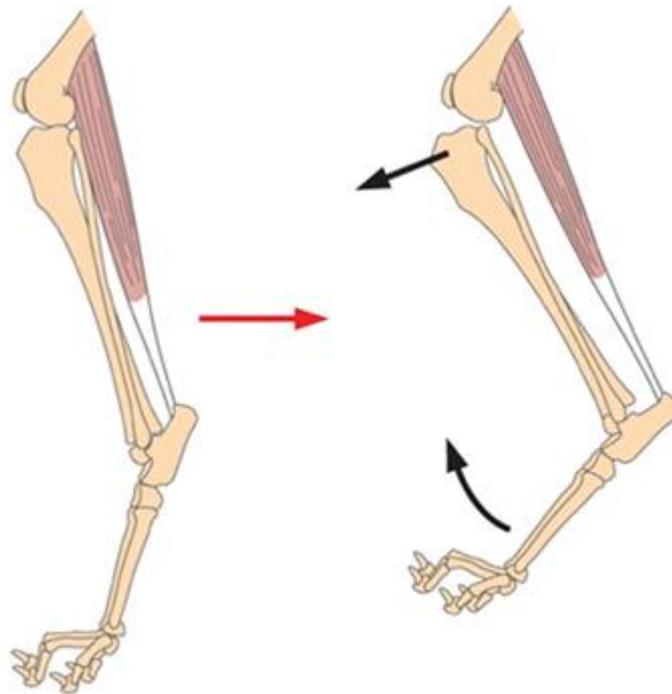


Abb. 3: Durchführung des Tibiakompressionstests (aus FOSSUM 2009).

DE ROOSTER et al. (1998) verglichen die Ergebnisse des Schubladentests mit denen des Tibiakompressionstests, indem Stressröntgenaufnahmen unter Tibiakompression angefertigt wurden, auf denen man röntgenologisch die Kranialverlagerung der Tibia sehen konnte. Der Schubladentest hatte in der Studie eine Sensitivität von 86 % und eine Spezifität von 98 %, während der Tibiakompressionstest eine Sensitivität von 97 % und eine Spezifität von 100 % hatte.

Der Korbhenkelriss des Kaudalhorns des medialen Meniskus ist der am häufigsten auftretende Meniskusschaden bei Hunden mit vorderer Kreuzbandruptur, wobei der gerissene Teil nach kaudal und kranial umschlagen kann (CASE et al. 2008). Dieses Umschlagen sorgt bei Lastaufnahme der Gliedmaße für einen hörbaren und/oder fühlbaren Klick. In der Studie von CASE et al. (2008) gab es bei 28%

aller Fälle ein auditiv wahrnehmbares „Meniskusklicken“. In einer anderen Studie wurde eine Sensitivität von 56 % und eine Spezifität von 75 % für ein „Meniskusklicken“ als Hinweis auf eine Meniskusläsion angegeben (ARNAULT et al. 2009).

2.4.2. Bildgebende Untersuchungsverfahren

2.4.2.1. Röntgen

Röntgenbilder des Kniegelenks in 2 Ebenen sollten immer angefertigt werden, um bei klinisch eindeutigen Fällen den Grad der Osteoarthrose beurteilen zu können oder bei nicht eindeutigen Fällen oder partiellen Kreuzbandrissen andere, nicht knöcherne Veränderungen zu erkennen (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Außerdem können dann andere Erkrankungen wie z. B. Frakturen oder Neoplasien nicht übersehen werden. Die typischen Befunde bei vorderer Kreuzbandinsuffizienz sind konsistent mit einer Osteoarthrose im Kniegelenk. Einer der frühesten Befunde bei vorderer Kreuzbanderkrankung ist der Verlust oder das Zurückdrängen des infrapatellaren Fettkörpers durch eine Weichteilverschattung auf der mediolateralen Röntgenaufnahme. In einem gesunden Kniegelenk verläuft die Grenze zwischen infrapatellarem Fettkörper und Weichteilverschattung vom kranialen Rand der Tibiakondylen, setzt sich diagonal nach proximal fort und endet an den Femurkondylen. Jede Ausbreitung des Weichteilschattens über diese Grenze hinaus ist ein pathologischer Befund und spricht für eine vermehrte Gelenkfüllung und/oder ein Ödem des Kniefettkörpers (TOBIAS und JOHNSTON 2012).

Ein anderer häufig vorkommender früher Befund, oft auch bei partiellen Kreuzbandrissen, sind Osteophyten und/oder Enthesiophyten in der Region des Ansatzes des kranialen Kreuzbandes in der Area intercondylaris cranialis tibiae (WIDMER et al. 1994). Diese Region kann ebenfalls auf der mediolateralen Röntgenaufnahme des Kniegelenks beurteilt werden. Die Osteophytose wird normalerweise an den osteochondralen Rändern der Kämme der Femurkondylen, den Tibiakondylen und am proximomedialen Tibiarand, wo das mediale Kollateralband ansetzt, beurteilt. In der kaudokranialen Ebene ist in chronischen Fällen ein pyramidaler Osteophyt am lateralen Rand des lateralen Tibiakondylus zu erkennen.

Andere typische Röntgenbefunde bei Kreuzbandinsuffizienten Kniegelenken sind Osteophyten an der Basis patellae und Osteophyten und/oder Entesiophyten an der Apex patellae, Verengung der interkondylären „Notch“ des Femurs durch Osteophyten und/oder Entesiophyten am Ursprung des vorderen Kreuzbandes, subchondrale Sklerose, außerdem Sklerose und Osteophytose an der Fossa extensoria tibiae (TOBIAS und JOHNSTON 2012) (Abb. 4). Auf manchen mediolateralen Standardröntgenaufnahmen ist bereits eine kraniale Subluxationsstellung der Tibia zu erkennen, ohne dass Kompression auf die Tibia ausgeübt wird (DE ROOSTER et al. 1998, KIM et al. 2011).



Abb. 4: Im Vergleich links ein Röntgenbild eines gesunden Kniegelenks und rechts ein Röntgenbild eines anderen Kniegelenks nach vorderem Kreuzbandriss. Zu sehen sind rechts eine vermehrte Gelenkfüllung, starke osteophytäre Zubildungen an Patella, distaler Tibia und proximalem Femur und Enthesiophyten.

2.4.2.2. Ultrasonografische Untersuchung

Die ultrasonografische Untersuchung des Kniegelenks umfasst 5 Regionen (suprapatellar, infrapatellar, lateral, medial, Bereich über dem Sulcus extensorius) und erfolgt von proximal nach distal (KRAMER et al. 1999, NAYSEH et al. 2015). In der Untersuchung von SCHNAPPAUF et al. (2007) konnte bei 81,9 % der Patienten die Kreuzbandruptur sonografisch dargestellt werden. Bei vollständigen Kreuzbandrissen erreichte die direkte sonografische Untersuchung

eine Sensitivität von 83,9 % und bei Teilrupturen eine Sensitivität von 72,2 %. Einen Gelenkerguss wiesen insgesamt 93,6 % der Tiere auf (SCHNAPPAUF et al. 2007). Für die Meniskusdiagnostik liegt die Schwäche der Sonografie in der Sensitivität, die nur mit 49,0 % angegeben wird, Spezifität und positiver prädiktiver Wert dagegen sind hoch (MÜLLER und KRAMER 2003). In einer neueren Studie ergab sich bei mittelgroßen und großen Hunden für das Erkennen von Korbhenkelrissen mittels Sonografie eine Sensitivität von 90,0 % und eine Spezifität von 92,9 % (MAHN et al. 2005), was sich durch den Einsatz von Schallköpfen mit 12–14 Megahertz erklären lässt, während bei MÜLLER und KRAMER (2003) Schallköpfe mit 5–10 Megahertz verwendet wurden. Es lässt sich sagen, dass die Wertigkeit der Sonografie zur Untersuchung von Meniskusveränderungen von den technischen Voraussetzungen und der Größe des Hundes abhängt, sowie von der Art des vorliegenden Schadens (NAYSEH et al. 2015).

2.4.2.3. Magnetresonanztomografie (MRT)

Die Kernspin- oder Magnetresonanztomografie hält immer mehr Einzug in die Tiermedizin und wird bei vorderen Kreuzbandrissen insbesondere in fraglichen Fällen und zur Meniskusdiagnostik genutzt. WINEGARDNER et al. (2007) fanden heraus, dass osteoarthrotische Veränderungen (Osteophyten, vermehrte Gelenkfüllung und subchondrale Zysten) häufige Befunde in der Magnetresonanztomografie darstellen, die mit einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes einhergehen. Knochenkontusionen, die sich in Form von Läsionen mit hoher Intensität in der Fett-Signal-Unterdrückung darstellen, kommen zwar häufig bei Hunden mit einer Kniegelenkslahmheit vor, sind aber nicht spezifisch für einen vorderen Kreuzbandriss (WINEGARDNER et al. 2007). Partielle oder vollständige (Abb. 5) Rupturen des vorderen Kreuzbandes können mithilfe der MRT gut erkannt werden.

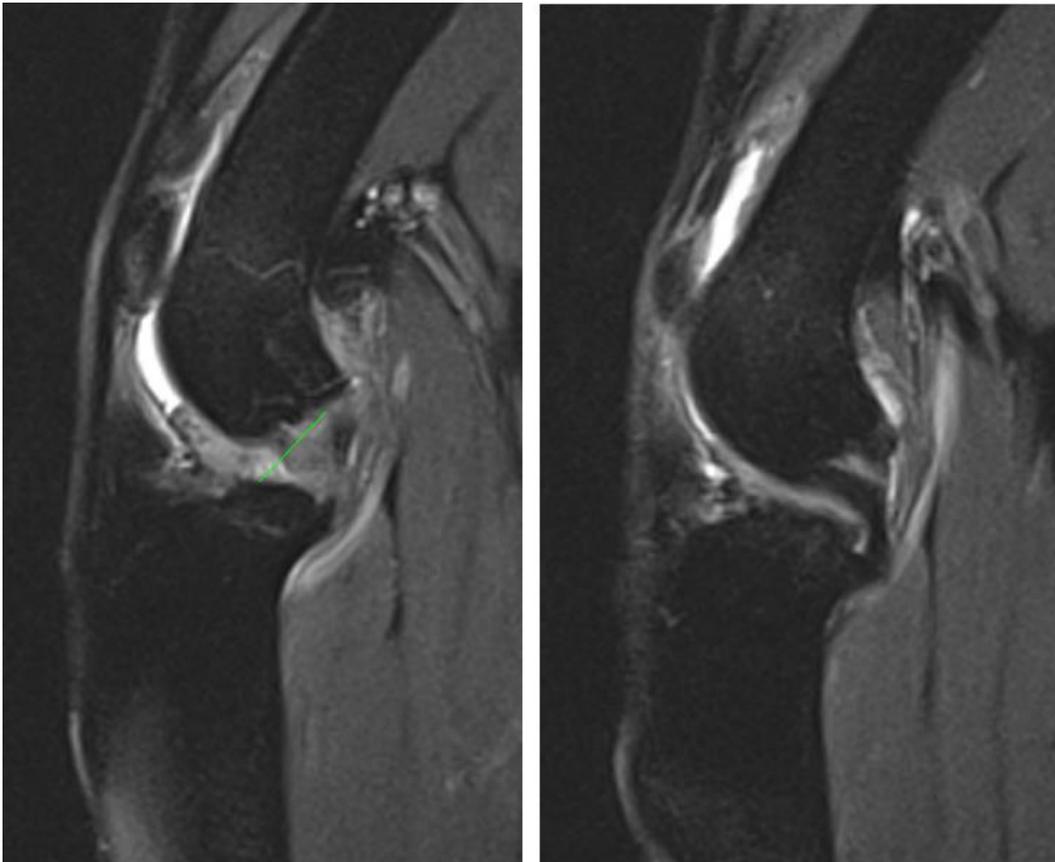


Abb. 5: Zwei MRT-Bilder des gleichen Kniegelenks in der Protonendichte-Wichtung mit Fettsaturation (PDFs) in sagittaler Ebene. Auf dem linken Bild ist wegen eines vollständigen Kreuzbandrisses das kraniale Kreuzband nicht abgrenzbar, die grüne Linie markiert seinen eigentlichen Verlauf. Auf dem rechten Bild sieht man das kaudale Kreuzband in normaler Stärke und mit normalem Faserverlauf.

In einer experimentellen Studie wurden 24 Beaglen operativ die vorderen Kreuzbänder durchtrennt und diese dann zu bestimmten Zeitpunkten nach dieser OP mittels 1,0 Tesla MRT untersucht (LIBICHER et al. 2005). Nach 6 Wochen sah man in der MRT bei allen untersuchten Kniegelenken Knochenmarksödeme in der Tibia als hyperintenses Signal in der koronalen T2-gewichteten Inversion-Recovery-Sequenz (SPIR) und als hypointenses Signal in den protonendichten Turbo-Spin-Echo-Sequenzen (PD-TSE). Außerdem sah man eine vermehrte Kniegelenksfüllung. Nach 12 Wochen zeigten alle kreuzbandinsuffizienten Kniegelenke unregelmäßige Oberflächen des Gelenkknorpels, die am besten in der sagittalen PD-TSE-Sequenz durch einen Verlust der homogenen Signalintensität erkannt werden konnten. Innerhalb von 24 Wochen nach Durchtrennung kam es zu Knorpelerosionen und das Hinterhorn des medialen Meniskus verlor seine charakteristische trianguläre Form und das homogene hypointense Signal. In den PD-TSE-Sequenzen gab es eine intermediäre Signalintensität und einen unregelmäßigen Verlauf als Zeichen der

Meniskusdegeneration. Es wurde immer das kontralaterale gesunde Kniegelenk mituntersucht, dieses zeigt keinen der Befunde.

Normale intakte Menisken haben in der MRT ein trianguläres Erscheinungsbild von niedriger Intensität in der T1-Wichtung (BAIRD et al. 1998), eine diffus inhomogene Signalintensität der Menisken ist typisch für Gradientenechosequenzen (MARTIG et al. 2006) (Abb. 6). Für die Meniskusdiagnostik mittels MRT-Untersuchung bei 11 Hunden mithilfe eines Hochfeldgerätes mit 1,5 Tesla konnte in der Studie von BLOND et al. (2008) eine Sensitivität von 100% und eine Spezifität von 94 % ermittelt werden. Die Kniegelenke wurden nach der MRT arthrotomiert und es waren 5 mediale Menisken korrekt als intakt befundet worden und 5 mediale korrekt als beschädigt. Ein medialer Meniskus stellte sich in der MRT hyperintens dar und wurde als defekt befundet, hatte in der OP dann aber ein normales Erscheinungsbild. Alle lateralen Menisken stellten sich intraoperativ normal dar, wobei auch hier einer fälschlicherweise als defekt befundet worden war. OLIVE et al. (2014) konnten in ihrer Studie ähnliche Ergebnisse erzielen. Sie nutzten ebenfalls ein Hochfeldgerät mit 1,5 Tesla. 2 Untersucher erkannten jeweils 9 von 12 Meniskusläsionen, wodurch sich eine Sensitivität von 75 %, eine Spezifität von 100 % und ein „Interobserver Agreement“ von 83 % ergaben. Nachträglich konnten noch 2 der 3 nicht erkannten Läsionen anhand von subchondralen Knochenmarksläsionen erkannt werden. Meniskusdiagnostik mittels Niederfeldgeräten brachte schlechtere Ergebnisse, wie die Studie von BÖTTCHER et al. (2012) zeigte. Ein MRT-Gerät mit 0,5 Tesla wurde genutzt um 50 Kniegelenke von 15 verschiedenen Untersuchern auf Meniskusläsionen untersuchen zu lassen. Sensitivität und Spezifität für das Erkennen von medialen Meniskusläsionen lagen bei 74 % und 89 %, für das Erkennen von lateralen Meniskusläsionen bei 0 % und 94 %. Dies führte zu einer Sensitivität und Spezifität zum Erkennen von allen Meniskusläsionen von 69 % und 92 %.

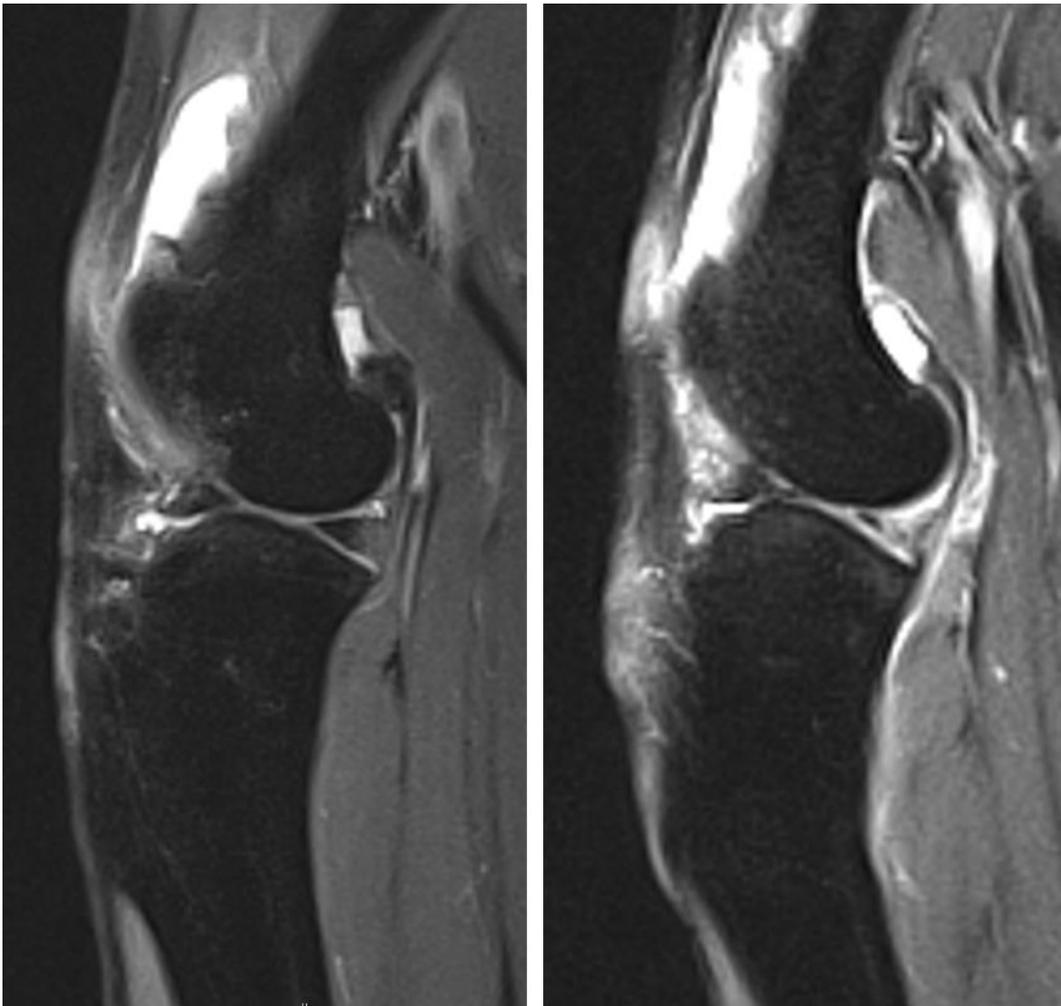


Abb. 6: Zwei MRT-Bilder von zwei unterschiedlichen Kniegelenken in der Protonendichtewichtung mit Fettsaturation (PDFs) in sagittaler Ebene. Links ein Kniegelenk, bei dem man das gesunde Hinterhorn des medialen Meniskus sieht. Rechts ein Kniegelenk, bei dem am Kaudalhorn des medialen Meniskus eine Läsion erkennbar ist.

2.4.3. Arthroskopie

Die Arthroskopie des Kniegelenks stellte eine minimalinvasive chirurgische Technik mit niedriger Morbidität dar und ermöglicht dem Operateur eine Evaluierung von Synovialmembran, Gelenkknorpel, Kreuzbändern und Menisken (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Außerdem sieht man alle Strukturen in Vergrößerung und kann Weichgewebe wie die Kreuzbänder oder Menisken manipulieren und so die anderen Gelenkstrukturen besser einsehen. Dieses präzise diagnostische Instrument erlaubt außerdem die gleichzeitige Sondierung und somit Einblicke in intraartikuläre Strukturen, während der Operateur Läsionen versorgt. Deswegen es in den meisten Fällen den nichtinvasiven bildgebenden Verfahren überlegen. Die Befunde bei kranialer Kreuzbandinsuffizienz hängen von der Schwere und Dauer der Erkrankung ab. In frühen Stadien von partiellen

Kreuzbandrissen verliert das vordere Kreuzband seinen normalen Faserverlauf und erscheint homogen, ödematös und beim Palpieren lax. Außerdem können Faserrisse diagnostiziert werden, wobei die Anzahl an Fasserrissen und der Grad der Laxität mit der Schwere der Erkrankung korrelieren. Andere Befunde wie Synovitis, Knorpelauffaserung, Osteophyten an der Basis patellae und Entesiophyten an der Apex patellae, Osteophyten an den Trochleakämmen und Meniskuläsionen sind bei einer vorderen Kreuzbandruptur die gleichen wie bei einer Kniegelenksosteoarthrose (TOBIAS und JOHNSTON 2012). Für die Meniskusdiagnostik ist die Arthroskopie mit Sondierung der kranio-medialen und kaudomedialen Arthrotomie mit einer Sensitivität von 80 % und einer Spezifität von 95 % überlegen (POZZI et al. 2008a). Die Wahrscheinlichkeit einer richtigen Diagnose lag in dieser Studie 8-mal höher als wenn die Arthroskopie ohne Sondierung durchgeführt wurde. Eine retrospektive Studie mit 531 eingeschlossenen Kniegelenken, bei denen die Menisken entweder mittels Arthroskopie oder Arthrotomie untersucht wurden, ließ ähnliche Rückschlüsse zu, da in 48,4 % der Arthroskopie-Gruppe Meniskuläsionen detektiert wurden und nur in 38,8 % der Arthrotomie-Gruppe (PLESMAN et al. 2013). Durch das Einbringen eines Kniegelenksdistraktors kann die Beurteilung des Kaudalhorns des medialen Meniskus vereinfacht und verbessert werden (BÖTTCHER et al. 2009, GEMMILL und FARRELL 2009). Außerdem kann eine partielle Menisektomie durchgeführt werden, was durch Ausüben einer manuellen Kranialverlagerung der Tibia vereinfacht werden kann.

2.5. Therapie der vorderen Kreuzbandruptur

Ziel der Therapie eines vorderen Kreuzbandrisses ist es, die Menisken und den Gelenkknorpel vor weiteren Schäden zu schützen, indem die Gelenkinstabilität so gut wie möglich umgangen und beseitigt wird (BONATH und PRIEUR 1998). Die konservative Therapie besteht aus der Gabe von nichtsteroidalen Antiphlogistika, Ruhighaltung an der kurzen Leine, Gewichtsreduktion, Unterwasserlaufband und Physiotherapie (COMERFORD et al. 2013, WUCHERER et al. 2013). Sie wird vor allem bei kleinwüchsigen Hunden, Kostenlimitation der Besitzer und unter Einbeziehung der Dauer und Schwere der Lahmheit, des Alters des Hundes und des Körpergewichts in Betracht gezogen (COMERFORD et al. 2013). In Hinblick auf die Lahmheitsbeurteilung durch

einen Untersucher, die ganganalytische Untersuchung und die Schmerzhaftigkeit zeigten Hunde, die chirurgisch mittels TPLO versorgt worden waren, ein signifikant besseres Outcome als Hunde nach konservativer Therapie (WUCHERER et al. 2013). Außerdem erhöht sich bei einer konservativen Therapie bei vollständigem vorderen Kreuzbandriss die Gefahr einer medialen Meniskusläsion (HAYES et al. 2010).

Die Operationstechniken lassen sich in 3 Gruppen unterteilen:

- Die intraartikulären Methoden
- Die extraartikulären Methoden
- Dynamische Stabilisierungs-/Umstellungsosteotomien

Da in verschiedenen Studien gezeigt wurde, dass die Umstellungsosteotomien den anderen Methoden insbesondere bei großen Hunden überlegen sind (LAZAR et al. 2005, BÖDDEKER et al. 2012, GORDON-EVANS et al. 2013, NELSON et al. 2013, BERGER et al. 2015), wird im Folgenden nur auf diese Gruppe näher eingegangen.

2.5.1. Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)

SLOCUM und DEVINE (1983) beschrieben 1983 den “cranial tibial thrust” (CTT) als eine kranial gerichtete Kraft, die während der Gewichtsaufnahme durch die Tibiakompression entsteht. Die Endsehne des M. biceps femoris ist dabei gemeinsam mit dem abfallenden Tibiaplateau eine der hauptwirkenden Kräfte. Das Tibiaplateau hat beim Hund durchschnittlich einen Winkel von 22,6°. Die Kompressionskraft während der Gewichtsaufnahme wird geteilt in eine Kraft, die parallel zur Tibiaachse ist und eine nach kranial gerichtete Kraft, die orthogonal dazu verläuft. Im Gegensatz zum kranialen Schubladenphänomen, das nach einer Ruptur des kranialen Kreuzbandes die ungebremste Schubkraft der Tibia nach kranial darstellt, ist der CTT eine intern erzeugte Kraft, der normalerweise dem kranialen Kreuzband entgegensteht. Die Überlegungen der Autoren zur Therapie des vorderen Kreuzbandrisses, war es, den CTT zu eliminieren, um damit die Notwendigkeit des vorderen Kreuzbandes aufzuheben. Zudem wird so die kraniale Subluxation der Tibia verhindert, wodurch das Kaudalhorn des medialen Meniskus entlastet und einer sekundären Verletzung vorgebeugt wird (SLOCUM

und DEVINE 1983).

SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993) beschrieben erstmals die TPLO zur Neutralisation des CTT. In ihrer Arbeit beschreiben sie ein aktives Modell des Kniegelenks, das sich vom traditionellen Modell dadurch unterscheidet, dass es das Kniegelenk nicht als 2-dimensionales Einmassenverbindungsstück („single-degree-of-freedom linkage“) sieht, das sich nur in einer Ebene bewegt. Es bezieht Kräfte mit ein, die durch Muskeln und Gewichtsbelastung entstehen. Aktive Muskelkräfte und die Konformation der Tibia resultieren in einem kranialen Tibiavorschub. Ihrer Meinung nach ist mit dem traditionellen Modell nicht zu erklären, wie es zu einer atraumatischen Ruptur des vorderen Kreuzbandes und zu einer Schädigung des Kaudalhorns des medialen Meniskus kommen kann. Der von ihnen beschriebene CTT ist eine aktive Kraft, die durch Lastaufnahme und Muskelkräfte entsteht und die zu einer Kompression des Tibiaplateaus gegen die Femurkondylen führt und durch den Zug der Flexoren des Oberschenkels (aktive Komponenten) und das kraniale Kreuzband und das Kaudalhorn des medialen Meniskus (passive Komponenten) ausgeglichen wird. Die TPLO macht keinen Versuch die passiven Kräfte, die den CTT auffangen, wiederherzustellen. Der CTT wird dadurch kontrolliert, dass das Tibiaplateau abgeflacht wird, was die Effektivität der aktiven Kräfte der Kniegelenksflexoren des Oberschenkels erhöht.

Zur Veranschaulichung des Grundprinzips dieser OP-Methode verwenden sie ein Wagen-Modell (Abb. 7): Man stelle sich einen Wagen vor, der auf einem Hügel parkt (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1998). Das Gewicht des Wagens (C: axiale Kompressionskraft) zieht aufgrund der Schwerkraft nach unten und erschafft eine Kraft (D) wegen der Neigung des Hügels. Wenn ein Seil (F: kraniales Kreuzband) vom Wagen zu einem Hydranten gespannt wird und sich ein Bremsklotz (E: Meniskus) hinter dem Hinterrad (Femorkondylus) befindet, wird verhindert, dass der Wagen den Hügel hinunter rollt (kranialer Tibiavorschub). Wenn das Seil reißt, rollt der Wagen den Hügel hinunter und beschädigt den Bremsklotz. Die Kraft D kann elimiert werden, wenn der Wagen auf einer planen Ebene parkt und das Seil (F) und der Bremsklotz (E) werden dann nicht benötigt. Die Gelenkkraft wird dann auf das Gewicht des Wagens (C) reduziert. Obwohl das Gewicht des Wagens nicht elimiert wird, fallen seine destruktiven Effekte weg.

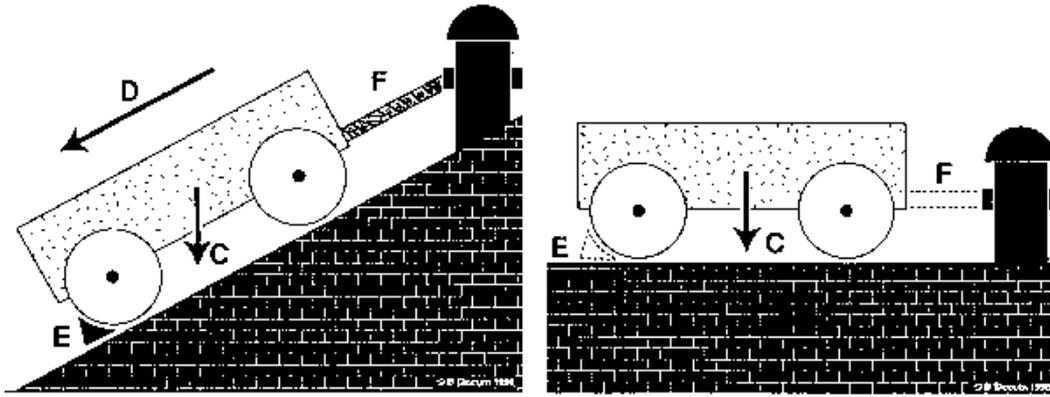


Abb. 7: Bildliche Darstellung des Wagen-Modells (aus SLOCUM und SLOCUM 1998).

Die Durchführung der TPLO beschrieben SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1998) folgendermaßen: Der Patient befindet sich in Rückenlage, nachdem er steril vorbereitet wurde. Der Hautschnitt verläuft kranio-medial und beginnt direkt dorsal der Patella und endet im proximalen Drittel der Tibia. Eine Arthrotomie wird über einen medialen parapatellaren Zugang durchgeführt, die Patella wird nach lateral luxiert. Aufgefasernde Enden des kranialen Kreuzbandes und ein Korbhenkelriss des kaudalen Horns des medialen Meniskus werden entfernt und ein „Meniscal Release“ wird durchgeführt. Die Insertionsstellen des M. gracilis und M. semitendinosus und vom kaudalen Muskelbauch des M. sartorius werden von der proximalen medialen Tibia abgehoben, während darauf geachtet werden muss, dass das mediale Kollateralband nicht beschädigt wird. Die TPLO wird durchgeführt, abhängig vom Ausgleich des Tibiaplateaus und der Struktur des Patienten. Ein sogenannter „Jig“ wird auf die mediale Tibia gebracht um die Osteotomie in der Sagittalebene und parallel zum Lig. patellae zu halten. Für den zylindrischen Sägeschnitt in der proximalen Tibia wird eine oszillierende Säge mit einem biradialen Sägeblatt verwendet. Anschließend wird das Fragment um die vorher ermittelte Distanz gedreht und mit einer speziellen TPLO-Platte fixiert (Abb. 8).

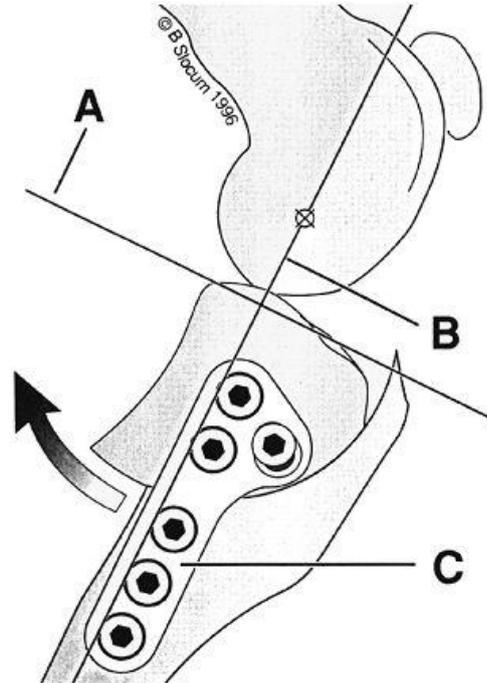


Abb. 8: Schematische Darstellung einer TPLO (aus SLOCUM und SLOCUM 1998).

SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993) definieren 5 Kriterien, an denen der Erfolg einer TPLO gemessen werden kann. Erstens sollte wieder eine volle Flexibilität des operierten Kniegelenks zurückkehren, was sich mithilfe des Sitztests ermitteln lässt. Bei einer akuten Erkrankung sollte nach 3 Monaten wieder ein normaler Sitz möglich sein, bei chronischen Fällen kann es länger dauern oder sogar nicht mehr ganz normal möglich sein, weil sich bereits eine fortgeschrittene Osteophytose gebildet hat. Als zweites Kriterium nennen sie eine wieder normale Bemuskulung nach 3 bis 4 Monaten postoperativ, zur Beurteilung kann der Oberschenkelumfang beidseits gemessen werden. Drittens sollte das Gelenk nach 3 Monaten frei von Entzündung sein, was durch Palpation der verschiedenen Strukturen des Kniegelenks zu bestimmen ist. Als viertes Kriterium sollte nach der Operation keine Progression der Osteoarthritis mehr stattfinden, was durch Röntgenbilder zu evaluieren ist. Als letztes und wichtigstes Kriterium sehen die Autoren eine volle Rückkehr der Funktionalität. Jeder Arbeitshund, ob Jagdhund oder Polizeihund, sollte wieder ganz normal eingesetzt werden können.

Das einzigartige Kriterium, das nach einer Versorgung eines kranialen Kreuzbandrisses mit den traditionellen Methoden genutzt wurde, ist der Schubladentest zur Beurteilung der vorderen Schubladenbewegung (SLOCUM

und DEVINE SLOCUM 1998). Für die Beurteilung des Erfolgs der TPLO hat aber das Schubladenphänomen keine Bedeutung, da die kraniale Schubladenbewegung bei dieser OP-Methode nicht eliminiert wird. Trotzdem wird aber eine kraniale Translation während funktioneller Belastung und Aktivität neutralisiert. In der ersten Beschreibung der TPLO von SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993) waren 394 Kniegelenke mit dieser von ihnen neu erfundenen OP-Technik oder der „Cranial Tibial Wedge Osteotomy“ (CTWO) versorgt worden. Postoperativ war der Schubladentest in 47,1 % der Fälle nicht auslösbar, schwach auslösbar in 29,6 % und positiv in 23,2 % der Fälle. Der Tibiakompressionstest war nicht auslösbar in 50,9 % der Fälle, schwach auslösbar in 35,9 % der Fälle und positiv in 13,1 % der Fälle.

Ein postoperativer Tibiaplateauwinkel von $5-6,5^\circ$ wurde als ideal definiert, bei dem es weder zu kranialer noch kaudaler Translation kommt (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1998, WARZEE et al. 2001). In-vitro-Studien fanden heraus, dass eine Rotation des Tibiaplateaus auf 0° zu einer kaudalen Translation führt und somit zu einer Mehrbelastung des kaudalen Kreuzbandes (WARZEE et al. 2001, REIF et al. 2002). In der Studie von WARZEE et al. (2001) wurde außerdem herausgefunden, dass eine TPLO nicht vor Innenrotation der Tibia und Hyperextension bewahrt, die beiden anderen Hauptfunktionen des kranialen Kreuzbandes.

Zum Messen des Tibiaplateauwinkels wird eine mediolaterale Röntgenaufnahme des Kniegelenks inklusive des Tarsalgelenks benötigt. Die Tibiaachse verläuft vom Mittelpunkt der Trochlea tali durch die Mitte der Eminentia intercondylaris tibiae. Die zweite Linie markiert das Tibiaplateau und verläuft vom Level der Area intercondylaris cranialis zum kaudalsten Punkt der medialen Tibiakondylen. Am Schnittpunkt dieser beiden Linien wird eine dritte hinzugefügt, welche senkrecht zur Tibiaachse steht. Der Winkel zwischen letztgenannter Linie und dem Tibiaplateau ist der Tibiaplateauwinkel (siehe Abb. 24).

In einer experimentellen Studie wurden die kaudalen Kreuzbänder beider Kniegelenke von 5 erwachsenen Foxhounds untersucht, auf der einen Seite mit gesundem Kniegelenk und intaktem kranialen Kreuzband, im anderen Kniegelenk 2 Jahre nach Durchtrennung des kranialen Kreuzbandes (ZACHOS et al. 2002). Da die kaudalen Kreuzbänder bei vorliegender kranialer Kreuzbandruptur degenerativ verändert waren, nahmen ZACHOS et al. (2002) an, dass nach

Neutralisieren des CTT durch eine TPLO das kaudale Kreuzband noch mehr beschädigt werden könnte als im hier vorliegenden Fall ohne TPLO.

Eine Analyse der Kontaktmechanismen des Kniegelenks ergab, dass die Kontaktpunkte zwischen Femur und Tibiaplateau in der Standphase nach TPLO weiter kaudal lokalisiert sind als bei gesunden Kniegelenken (KIM et al. 2009a). Eine In-vivo-Studie fand heraus, dass eine TPLO zwar die femorotibiale Subluxation, die bei einer vollständigen vorderen Kreuzbandruptur auftritt, verbessert, aber nicht zu einer normalen Gelenkfunktion führt (KIM et al. 2012). In der Studie wurden Röntgenaufnahmen von stehenden Hunden zuerst von der gesunden und der erkrankten Seite angefertigt und anschließend noch einmal zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach TPLO. Obwohl in dieser Studie bestätigt wird, dass eine TPLO dem erkrankten Kniegelenk wieder funktionale Stabilität zurückgeben kann, erscheint die komplette Elimination der Subluxation multifaktoriell zu sein. Außerdem scheint der mediale Meniskus einen großen Einfluss auf die Gelenkstabilität zu haben. In der Studie zeigten 5 Hunde nach TPLO eine persistierende Subluxation, wovon 4 eine partielle Meniskektomie des Kaudalhorns des medialen Meniskus aufgrund eines Defekts erhalten hatten. Beim letzten Hund mit persistierender Instabilität hatte sich die Osteotomie zurückgedreht, er wies bei der 1-Monats-Kontrolle einen TPA von 15° auf.

Es hat sich gezeigt, dass eine Breite der Tuberositas tibiae von weniger als 1 cm nach TPLO einen Risikofaktor für eine Tibiafraktur darstellt (BERGH et al. 2008), in dieser Studie betrug das mittlere Körpergewicht 40 kg. Dabei ist zu bedenken, dass dieses Maß nicht auf alle Hunderassen und -größen übertragbar ist, sondern jeweils angepasst werden muss. In der oben genannten Gewichtsklasse kann aber 1 cm als Richtwert angesehen werden. Ob ein Jig benutzt wird oder nicht, führt zu keinen signifikanten Unterschieden im postoperativen Tibiaplateauwinkel, der Breite der Tuberositas tibiae, einer Varus-valgus-Fehlstellung oder einer Tibiatorsion (BELL und NESS 2007).

Das Outcome nach TPLO wurde in verschiedenen Studien mit oder ohne laufbandgestützte Ganganalyse untersucht. In einer Studie zeigten Hunde 18 Wochen nach TPLO die gleichen Werte auf dem Laufband wie auf der gesunden kontralateralen Seite, während sie 8 Wochen nach TPLO noch einen signifikanten Unterschied in „Peak vertical force“ (PVF) und „Vertical Impulse“ (VI) aufwiesen (BALLAGAS et al. 2004). Eine andere Untersuchung fand heraus, dass

1–5 Jahre nach TPLO der Muskelumfang auf der operierten Seite im Durchschnitt 98,5 % der gesunden Gliedmaße betrug, was einen signifikanten Unterschied darstellte (MOELLER et al. 2010). Außerdem gab es einen signifikanten Unterschied in der „Range of Motion“ (ROM). Eine leichte Progression der osteoarthrotischen Veränderungen im Kniegelenk 8 Wochen nach TPLO wurde ebenfalls beschrieben (HURLEY et al. 2007). BOYD et al. (2007) fanden aber heraus, dass das radiologische Outcome in Bezug auf die Arthroseprogression nicht mit der Besitzerzufriedenheit korrelierte. Interessant sind die Befunde einer zweiten Arthroskopie (HULSE et al. 2010). 17 Kniegelenke von Hunden mit einem stabilen partiellen Riss des kranialen Kreuzbandes, die mittels TPLO versorgt worden waren, erhielten eine zweite Arthroskopie im Schnitt 25 Monate später und es stellte sich heraus, dass das kraniale Kreuzband gleich aussah wie bei der ersten Arthroskopie, nur die angerissenen Fasern waren resorbiert worden. Das kaudale Kreuzband, die Menisken und der Gelenkknorpel sahen in nahezu allen Gelenken unauffällig aus. Im Gegensatz dazu wiesen Kniegelenke mit einem vollständigen oder einem instabilen partiellen vorderen Kreuzbandriss, die ebenfalls mittels TPLO versorgt worden waren, mittel- bis hochgradige Gelenkknorpelveränderungen bis hin zu freiliegendem Knochen auf. Über 90 % der Besitzer waren bei Besitzerbefragungen nach einer TPLO zufrieden oder sogar sehr zufrieden mit dem Outcome (PRIDDY et al. 2003, OXLEY et al. 2013). Alle an dieser Stelle genannten Studien behandelten das Outcome nach der TPLO zur Versorgung des vorderen Kreuzbandrisses, ohne einen Vergleich zu anderen Therapieoptionen vorzunehmen.

Die Komplikationsrate schwankt studienabhängig zwischen 9,7 % und 53,3 % (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993, PACCHIANA et al. 2003, PRIDDY et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, CORR und BROWN 2007, DUERR et al. 2008, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010, COOK et al. 2010b, GATINEAU et al. 2011, FERREIRA et al. 2016). Zu den intraoperativen Komplikationen zählen Tibia- und Fibulafrakturen (PRIDDY et al. 2003, STAUFFER et al. 2006), gebrochene Schrauben (STAUFFER et al. 2006), gebrochene Bohrer, gebrochene Haltepins, Schrauben im Gelenk, Jigpins im Gelenk, Schrauben, die im Osteotomiespalt platziert wurden, vergessene Tupfer (PRIDDY et al. 2003) und starke Blutungen (PACCHIANA et al. 2003, PRIDDY et al. 2003, STAUFFER et al. 2006), die am häufigsten aus der A. tibialis cranialis

stammen (MOLES und GLYDE 2009). Kurzzeitkomplikationen treten definitionsgemäß bis Tag 14 postoperativ auf und umfassten Infektionen, Serome (PACCHIANA et al. 2003, FITZPATRICK und SOLANO 2010, COOK et al. 2010b), Wunddehiszenz, Irritationen sekundär zu Verbänden, Ödeme/Hämatome/Quetschungen durch den Hautschnitt (PACCHIANA et al. 2003, DUERR et al. 2007) und Tibiafrakturen (STAUFFER et al. 2006, COOK et al. 2010b). Beschriebene Langzeitkomplikationen ab Tag 15 postoperativ waren Tibiafrakturen (STAUFFER et al. 2006, DUERR et al. 2008), Frakturen der Tuberositas tibiae, Fibulafrakturen, Patellafrakturen (PACCHIANA et al. 2003, FITZPATRICK und SOLANO 2010), Osteomyelitis (PACCHIANA et al. 2003, PRIDDY et al. 2003), sekundäre Meniskusschäden (PACCHIANA et al. 2003, FITZPATRICK und SOLANO 2010, GATINEAU et al. 2011), gebrochene Schrauben, gelockerte Schrauben (PACCHIANA et al. 2003, PRIDDY et al. 2003), Tendinitis des Lig. patellae (PACCHIANA et al. 2003, STAUFFER et al. 2006), Patellaluxation nach medial (FITZPATRICK und SOLANO 2010, GATINEAU et al. 2011) und persistierende kraniale Subluxation der Tibia, auch Pivot Shift genannt (FITZPATRICK und SOLANO 2010, GATINEAU et al. 2011). Hunde, die in der gleichen Narkose eine beidseitige TPLO erhielten, hatten signifikant mehr Komplikationen als Hunde, die eine einseitige TPLO oder eine TPLO der 2. Seite in einer 2. Sitzung erhielten (PRIDDY et al. 2003), darunter ein 8,5- bis 9,6-fach höheres Risiko für Tibiafrakturen (KERGOSIEN et al. 2004).

2.5.2. Tibial Tuberosity Advancement (TTA)

Die TTA wurde erstmals 2002 von MONTAVON et al. beschrieben. Ihr biomechanisches Modell unterscheidet sich von dem von SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993) dadurch, dass die totalen Gelenkkräfte bei ihrem Modell nicht parallel zur funktionalen Achse der Tibia sind, sondern parallel zum Lig. patellae (TEPIC et al. 2002) (Abb. 9). Sie behaupten, dass beim Modell von SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993), welches auf Basis der Analyse des Tibiakompressionstest entwickelt wurde, angenommen wird, dass die totalen Gelenkkräfte parallel zur Achillessehne sind, was im Wesentlichen der funktionellen Achse der Tibia entspricht. Im Gegensatz dazu wird von TEPIC et al. (2002) die These aufgestellt, dass unter gewichtstragenden Konditionen die Kraft, die auf die Pfote einwirkt, nicht gleich derer ist, die beim

Tibiakompressionstest ausgeübt wird, sondern dass diese parallel zum Lig. patellae ist. Deshalb sollten Stabilisierungsmethoden das Ziel haben, dass das Tibiaplateau orthogonal zum Lig. patellae ausgerichtet wird, der Patellarsehnenwinkel also 90° beträgt.

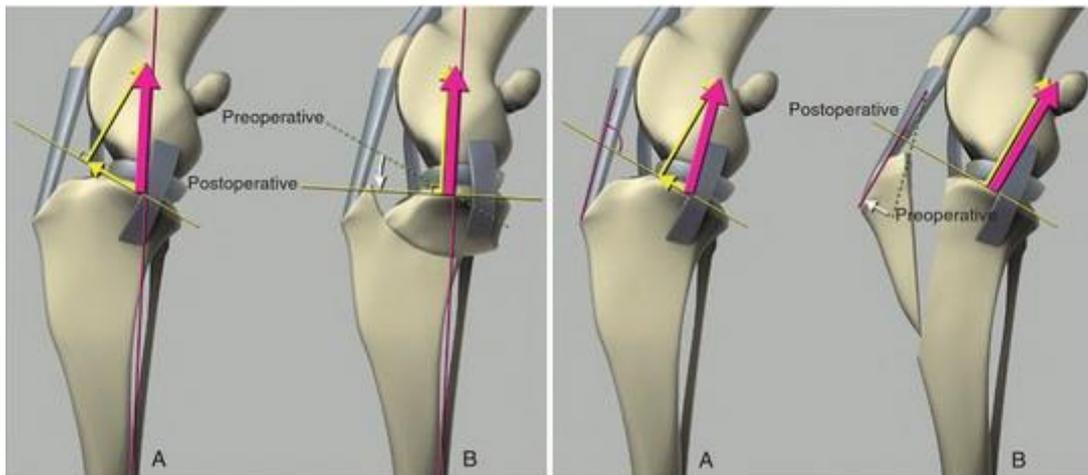


Abb. 9: Schematische Darstellung der Kniegelenksmodelle nach SLOCUM und SLOCUM (1993) und nach TEPIC et al. (2002) (aus KIM et al. 2008).

Links das Prinzip von SLOCUM und SLOCUM (1993): Die Gelenkreaktionskraft (rosa Pfeil) ist nahezu parallel zur longitudinalen Achse der Tibia ausgerichtet. In einem kreuzbandinsuffizienten Kniegelenk (A), teilt sich die Gelenkreaktionskraft in kranial gerichtete tibiofemorale Scherkräfte (parallel zum Tibiaplateau) und eine Gelenkkompressionskraft (orthogonal zum Tibiaplateau) (gelbe Pfeile). Durch das Leveln des Tibiaplateaus (B) ist die Gelenkreaktionskraft orthogonal zum Tibiaplateau gerichtet und resultiert jetzt nur noch in einer Gelenkkompressionskraft, der CTT wird eliminiert.

Rechts das Prinzip von TEPIC et al. (2002): Die Gelenkreaktionskraft (rosa Pfeil) ist nahezu parallel zum Lig. patellae ausgerichtet. In einem kreuzbandinsuffizienten Kniegelenk (A) teilt sich die Gelenkreaktionskraft in kranial gerichtete tibiofemorale Scherkräfte und eine Gelenkkompressionskraft (gelbe Pfeile). Durch Kranialisieren der Tibia (B) befindet sich das Lig. patellae während der Standphase des Ganges orthogonal zum Tibiaplateau. Die Gelenkreaktionskraft ist während der Gewichtsaufnahme orthogonal zum Tibiaplateau gerichtet und resultiert jetzt nur noch in einer Gelenkkompressionskraft, der CCT wird eliminiert.

Für die präoperative TTA-Planung wird wie bei der TPLO ein mediolaterales Röntgenbild benötigt, allerdings vom gestreckten Kniegelenk (135° -Winkelung) und ohne vordere Schubladenstellung (MONTAVON et al. 2002, MONTAVON et al. 2004). Damit wird geplant, um wieviel die Tibia kranialisiert werden muss, damit das Tibiaplateau senkrecht zum Lig. patellae steht. Mittels Arthroskopie oder medialer Arthrotomie wird das vordere Kreuzband und der mediale Meniskus untersucht, um gegebenenfalls bei einem vollständigen vorderen Kreuzbandriss mit Meniskusläsion eine partielle Menishektomie durchzuführen. Zur Tibia wird von medial zugegangen und die gewünschte Anzahl an Löchern

für das Platzieren der Platte mit seiner dazugehörigen Gabel mit einer speziellen Bohrbüchse und einem 2.0 mm Bohrer gebohrt, das proximalste Bohrloch auf dem Level des Ansatzes des Lig. patellae. Die Löcher werden direkt hinter der Kortex des Margo cranialis platziert. Anschließend wird die senkrecht zur sagittalen Ebene der Tibia verlaufende Osteotomie durchgeführt, distal beginnend und proximal wird ein Knochensteg stehen gelassen. Die Platte mit 3–8 Löchern und die Gabel mit den passenden Haken werden angepasst und angebracht. Danach wird die Osteotomie proximal vervollständigt und der passende Platzhalter („Cage“) mit 3–12 mm Breite in den Osteotomiespalt eingesetzt (MONTAVON et al. 2002) (Abb. 10).



Abb. 10: Schematische Darstellung einer TTA (aus KIM et al. 2008)

Bei einer Besitzerbefragungen 8–42 Wochen nach einer TTA zur Versorgung eines kranialen Kreuzbandrisses ihres Hundes beurteilten 90,0 % der Besitzer das Outcome als gut oder exzellent, außerdem gaben 95,0 % der Besitzer an, dass die Hunde nur nach vermehrter Belastung oder gar nicht mehr lahmt und das Aktivitätslevel ihrer Hunde hatte sich laut 90,0 % der Besitzer verbessert (HOFFMANN et al. 2006). LAFEVER et al. (2007) untersuchten die Hunde im Durchschnitt 13,5 Wochen (3–63 Wochen) postoperativ, nachdem sie eine TTA erhielten und bewerteten 74,5 % der Hunde als lahmheitsfrei, 22,5 % zeigten eine milde Lahmheit, 2,0 % eine moderate und 1,0 % eine hochgradige Lahmheit. Die

durchschnittliche Zeit bis zur vollständigen Genesung wurde mit 11,2 Wochen (4–63 Wochen) angegeben. In einer anderen Studie zum Outcome nach TTA von STEIN und SCHMOEKEL (2008) zeigten 89,0 % der Hunde 6 Wochen postoperativ keine oder eine geringgradige Lahmheit auf der operierten Hintergliedmaße. Alle Hunde fingen innerhalb von 24 Stunden nach der TTA an, das operierte Bein zu belasten. Bei der Besitzerbefragung 12 Monate postoperativ befanden 65,0 % der Besitzer das Outcome ihres Hundes als exzellent und 28,0 % als gut. VOSS et al. (2008) verglichen die ganganalytischen kinetischen Ergebnisse von Hunden im Durchschnitt 5,9 Monate (4–16 Monate) nach TTA mit den Daten einer gesunden Kontrollgruppe und stellten fest, dass sich die Hunde der TTA-Gruppe zwar von den prä- zu den postoperativen Werten signifikant verbessert hatten, aber postoperativ immer noch ein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe bestand. Für die Parameter PVF und VI erreichte die TTA-Gruppe durchschnittlich 90 % der Werte der Kontrollgruppe.

Zur Komplikationsrate nach TTA für Minor- und Major-Komplikationen insgesamt existieren Angaben zwischen 17,4 % und 59,6 % (HOFFMANN et al. 2006, LAFAVER et al. 2007, STEIN und SCHMOEKEL 2008, VOSS et al. 2008, DYMOND et al. 2010, HIRSHENSON et al. 2012, WOLF et al. 2012, CHRISTOPHER et al. 2013, MACDONALD et al. 2013, PROOT und CORR 2013). Zu den intraoperativen Komplikationen zählen intraartikulär gesetzte Schrauben, Durchtrennung der Sehne des M. extensor digitorum longus (HOFFMANN et al. 2006) und Frakturen der Tuberositas tibiae (WOLF et al. 2012). Beschriebene Kurzzeitkomplikationen bis Tag 14 postoperativ waren Ödeme, Schwellungen, Hämatome, Wundinfektionen, Nahtdehiszenz und Serome (HOFFMANN et al. 2006, LAFAVER et al. 2007, STEIN und SCHMOEKEL 2008, WOLF et al. 2012). Ab Tag 15 postoperativ traten sekundäre Meniskuläsionen, Implantatversagen, Tibiafrakturen, hierbei insbesondere Frakturen der Tuberositas tibiae (HOFFMANN et al. 2006, LAFAVER et al. 2007, WOLF et al. 2012), fokale Lyse des lateralen Femurkondylus nach intraartikulär platzierter Schraube (HOFFMANN et al. 2006), Patellaluxation nach medial (LAFAVER et al. 2007, HIRSHENSON et al. 2012), Patella baja (HIRSHENSON et al. 2012) und septische Arthritis (LAFAVER et al. 2007, HIRSHENSON et al. 2012) auf. Die häufigste Major-Komplikation war bei allen Untersuchungen die sekundäre Meniskuläsion, die studienabhängig bei 3,6 % bis

27,8 % der Hunde auftrat (HOFFMANN et al. 2006, LAFAVER et al. 2007, STEIN und SCHMOEKEL 2008, VOSS et al. 2008, DYMOND et al. 2010, HIRSHENSON et al. 2012, WOLF et al. 2012, CHRISTOPHER et al. 2013, MACDONALD et al. 2013, PROOT und CORR 2013).

Laut NESS (2016) stellt die präoperative Planung eine der größten Limitationen der TTA dar. Es wurden nie Daten veröffentlicht, die die korrekte Methode angeben, mit der vor einer TTA geplant werden soll, um wieviel die Tibia kranialisiert werden muss, um einen Winkel von 90° zwischen Lig. patellae und Tibiaplateau zu erhalten (NESS 2016). Fest steht, dass ein Röntgenbild mit einem Kniegelenkwinkel von 135° benötigt wird (HOFFMANN et al. 2006, LAFAVER et al. 2007, STEIN und SCHMOEKEL 2008, VOSS et al. 2008, PROOT und CORR 2013). Ein Röntgenbild mit einem Kniegelenkwinkel von 135° anzufertigen ist technisch schwierig und es wurde gezeigt, dass verschiedene Methoden, die Femurachse einzuschätzen und folglich auch den Kniegelenkwinkel, einen signifikanten Einfluss auf die präoperative Planung haben (BUSH et al. 2011). Schon DE ROOSTER und VAN BREE (1999) zeigten, dass es bei mediolateralen Röntgenaufnahmen des Kniegelenks ein unberechenbares Maß an kraniokaudaler femorotibialer Subluxation bei kreuzbandinsuffizienten Kniegelenken gibt. In einem Ausmaß, das jegliche Planung, die auf der räumlichen Beziehung von Femur und Tibia bei einem kreuzbandinsuffizienten Kniegelenk basiert, sehr unsicher macht. Obwohl bisher genutzte Methoden zur präoperativen Planung der TTA laut Studien zu einem guten klinischen Outcome geführt haben, weisen sie technische Fehler auf, die theoretische Grundlage ist kontrovers und neue Studien zeigen, dass die am häufigsten genutzten Methoden zu signifikant unterschiedlichen Ergebnissen führen (MILLET et al. 2013, CADMUS et al. 2014).

2.5.3. Modifikationen der TTA: Modified Maquet Technique (MMT) und Modified Maquet Procedure (MMP)

Eine Modifikation der TTA stellt die „Modified Maquet Technique“ (MMT) dar, bei der distal ein Knochensteg stehen gelassen und nicht wie bei der TTA die Tuberositas tibiae vollständig abgesetzt wird (ETCHEPAREBORDE et al. 2010, ETCHEPAREBORDE et al. 2011a). Dieser Knochensteg kann bei Fissur oder

Fissurgefahr mit einer Drahtcerclage distal fixiert werden. Proximal wird der gleiche Platzhalter („Cage“) wie bei der TTA eingebracht (Abb. 11).

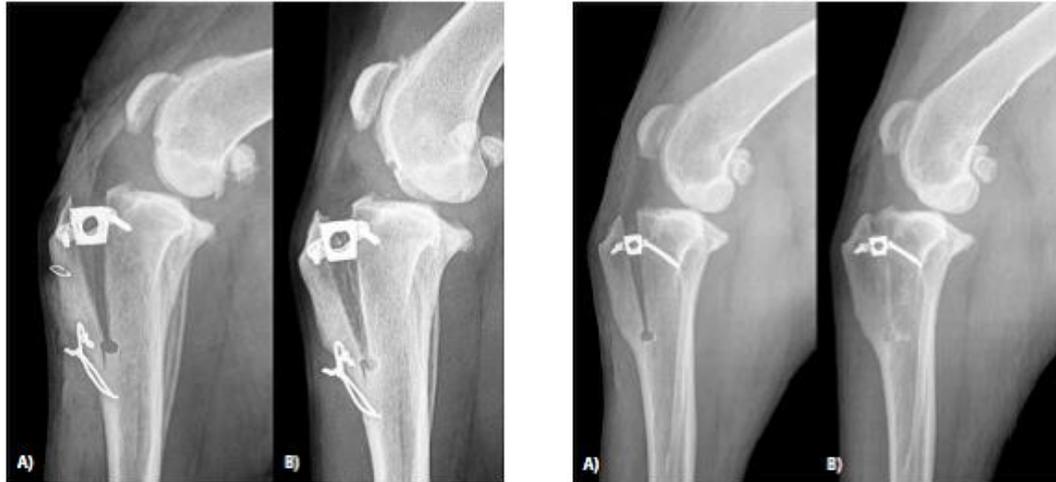


Abb. 11: Jeweils 2 Röntgenbilder von 2 unterschiedlichen Patienten nach Modified Maquet Technique (aus ETCHEPAREBORDE et al. 2011a). A) ist jeweils ein Bild direkt nach MMT und B) 3 Monate postoperativ. Beim Patienten links sieht man, dass eine Drahtcerclage zur Fixierung des distalen Knochenstegs notwendig war, beim Patienten rechts war dies nicht nötig, da keine Fissur entstanden war.

In der retrospektiven Studie von ETCHEPAREBORDE et al. (2011a) musste bei 17 der 20 Hunde eine Drahtcerclage zur Fixierung des distalen Knochenstegs eingesetzt werden (Abb. 11). 8 der 20 Hunde hatten eine Meniskusläsion und eine partielle mediale Meniskektomie wurde durchgeführt. Von den anderen 12 Hunden zeigten 2 Hunde nach 6 bzw. 12 Wochen wieder eine Lahmheit und es wurde eine sekundäre Meniskusläsion diagnostiziert und eine partielle mediale Meniskektomie durchgeführt. Bei 1 Hund wurde als radiologischer Nebenfund eine Fraktur der Tibiavorderkante diagnostiziert, er zeigte klinisch aber keine Lahmheit. Das funktionelle Outcome wurde in dieser Studie nicht untersucht. In einer anderen retrospektive Studie von RAMIREZ et al. (2015) wurden die Komplikationen und das Outcome nach der MMT zur Versorgung eines kranialen Kreuzbandrisses bei 82 Hunden mit 84 operierten Kniegelenken untersucht. Es traten bei 34 der 84 Kniegelenke (40,5 %) Major-Komplikationen auf, davon 5 intraoperative Frakturen und 16 intraoperative Fissuren des kortikalen Stegs. In allen 21 Fällen wurde distal eine Drahtcerclage zur Fixierung angebracht. Weitere 5 Fissuren wurden erst auf den postoperativen Röntgenaufnahmen diagnostiziert,

hatten aber keine klinischen Folgen. Ein sekundärer Meniskusschaden trat bei 3 der 38 operierten Kniegelenke auf, die bei der Erstoperation einen intakten medialen Meniskus zeigten. Bei 1 Hund trat eine diaphysäre Tibiafraktur auf, bei diesem Hund war der Sägeschnitt zu weit kaudal angesetzt gewesen. Weitere Major-Komplikationen waren bei 2 Hunden eine Nahtdehiszenz, sodass eine offene Wundheilung nötig war, bei 1 Hund eine septische Arthritis und bei 1 Hund eine Wunde sekundär zum Cerclagedraht. Minor-Komplikationen waren in 5 Fällen eine Fissur des kortikalen Stegs, die erst bei der ersten Kontrolluntersuchung als radiologischer Nebenbefund diagnostiziert wurde, Irritationen sekundär zu den Verbänden in 3 Fällen und bei 1 Hund eine Lahmheit unbekanntes Ursprungs. Nach durchschnittlich $5,62 \pm 1,32$ Wochen betrug der durchschnittliche Lahmheitsscore 1 bei einem Scoring-System von 0–5, was einen signifikanten Unterschied zum durchschnittlichen präoperativen Lahmheitsscore von 3 darstellte. Nach $11,1 \pm 2,43$ Wochen betrug der durchschnittliche Lahmheitsscore 0, was wiederum einen signifikanten Unterschied zum präoperativen Wert und zu dem der 1. Kontrolluntersuchung darstellte (RAMIREZ et al. 2015).

Die „Modified Maquet Procedure“ (MMP) wird als widerstandsfähigere und vereinfachte Version der TTA beschrieben, wobei ein keilförmiges Implantat aus Titanschaum (OrthoFoam™, Fa. Orthomed Technology GmbH) in den Osteotomiespalt eingesetzt wird (www.downsvetreferrals.co.uk/review-article-the-modified-maquet-procedure) (Abb. 12). Dieses Material wird als vorgefertigter Keil geliefert und dieser dazu benutzt, die Tibia zu kranialisieren und zu fixieren und ersetzt den bei der TTA benötigten Platzhalter („Cage“) und die Platte mit Gabel. Der OrthoFoam™-Keil besteht aus gesinterten Titankügelchen, die zu einer starren, porösen Struktur geformt sind, durch die Knochen einwachsen soll um den Keil zu stabilisieren. Das Material bietet ein unverformbares Gerüst, um die Lücke zu schließen, die bei einer konventionellen TTA entsteht. Durch seinen hohen Reibungskoeffizienten wird der Keil sofort in Position gehalten. Die dazugehörige Sägeföhrung hilft dabei, akkurate, konsistente Ergebnisse und eine zuverlässige Position des Sägeschnitts zu erzielen. Distal werden zur zusätzlichen Fixierung entweder eine Zuggurtung mit 2 Drahtcerclagen in einer Achtertour angelegt (NESS 2011, NESS 2016) oder als neuere Version wird eine spezielle Klammer eingesetzt (NESS 2014). Es zeigt

sich ein schnelles Einwachsen des Implantats, dadurch wird früh eine volle Belastung der operierten Gliedmaße möglich und intensive Physiotherapie ist früher möglich als bei den anderen Umstellungsosteotomien (www.downsvetreferrals.co.uk/review-article-the-modified-maquet-procedure).



Abb. 12: Postoperatives Röntgenbild eines Kniegelenks nach Durchführung einer MMP.

Limitationen der konventionellen TTA liegen in ihrer Komplexität und ihrer ungenauen, unzuverlässigen präoperativen Methode zur Planung der benötigten Kranialisierung der Tibia (NESS 2016). Das Ziel der MMP war es deshalb, eine OP-Methode zur Kranialisierung der Tibia zu entwickeln, die einfach und kostengünstig ist und die eine fehlerfreie, präzise, zuverlässige und reproduzierbare präoperative Methode zum Planen bietet. Die durchschnittliche OP-Zeit bei einer TTA wird mit 125 ± 37 Minuten angegeben (HOFFMANN et al. 2006) und es gibt eine langsame Lernkurve bei der TTA, so wird erst nach der 100. TTA durch den gleichen Operateur eine stabile Erfolgsrate von 90 % erzielt (PROOT und CORR 2013). Ohne die Notwendigkeit die Platte, die Gabel, den

Platzhalter und das Knochentransplantat anzubringen, wird im Vergleich dazu die OP-Zeit bei der MMP stark verkürzt und die Morbidität gesenkt (www.downsvetreferrals.co.uk/review-article-the-modified-maquet-procedure).

Dadurch wird die Rekonvaleszenzzeit ebenfalls verkürzt, die Kosten für den Besitzer werden reduziert und das Komplikationsrisiko wird gesenkt.

Aus den bei der TTA genannten Gründen wird bei der MMP ein anderes Verfahren zur präoperativen Bestimmung der benötigten Kranialisierung der Tibia verwendet, bei der alle Bezugspunkte auf der Tibia liegen und deshalb der Kniegelenkwinkel auf der Röntgenaufnahme keine 135° betragen muss (NESS 2011, NESS 2016) (Abb. 13).

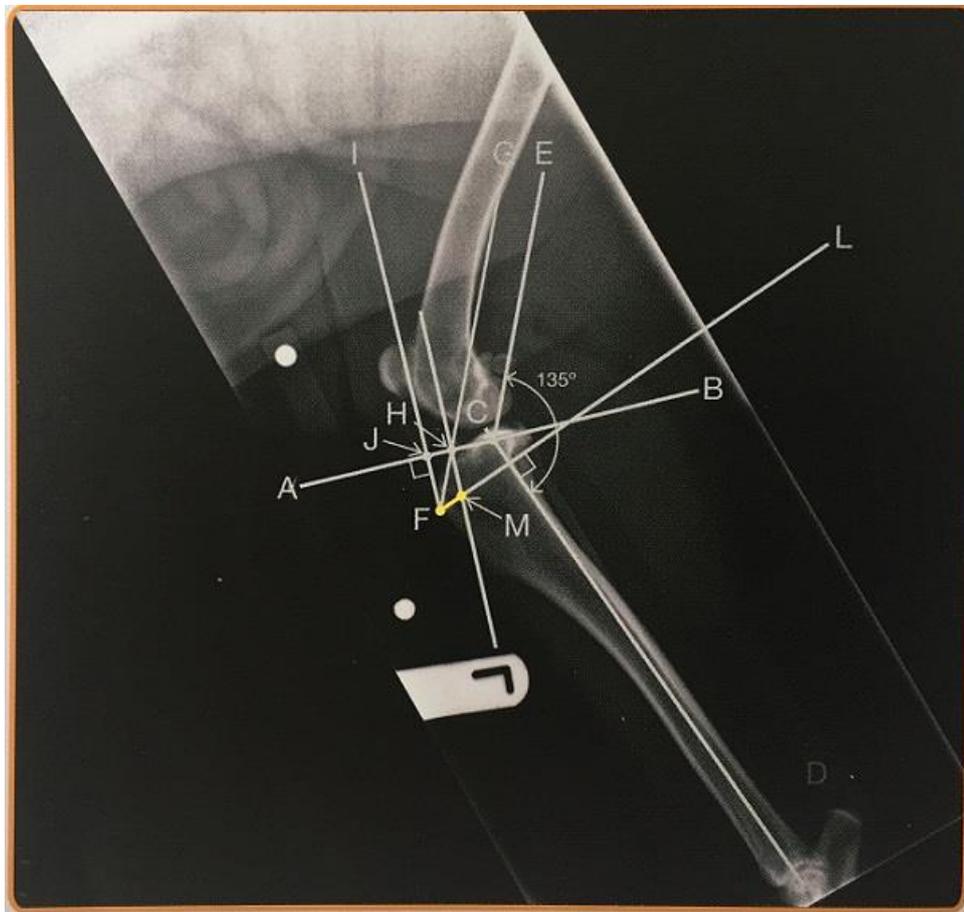


Abb. 13: Erklärung der präoperativen Messung vor MMP zur Bestimmung der Keilgröße (aus NESS 2011). Linie AB: Tibiaplateau; Punkt C: Mittelpunkt der Eminentia intercondylaris tibiae auf Linie AB; Punkt D: Zentrum des Talus; Linie CD: Tibiaachse; Linie CE: Winkel unter der Linie DCE beträgt 135° ; Punkt F: kranialster Teil der Tuberositas tibiae, an dem das Lig. patellae ansetzt; Linie FG: parallel zu Linie CE; Punkt H: Schnittpunkt von Linie FG und Linie AB; Linie FI: ausgehend von F rechtwinklig zu Linie AB mit Schnittpunkt J; Linie FL: ausgehend von F rechtwinklig zu Linie CD; Linie HM: Linie durch H parallel zu Linie IF mit Schnittpunkt M zur Linie FL; Abstand FM (gelb) wird gemessen → Dieser ergibt die Abstandsgröße (Keilgröße), die für einen Patellarsehnenwinkel von 90° benötigt wird.

Seit Neuem wird sogar völlig auf eine Messung verzichtet und die benötigte Keilgröße orientiert sich ausschließlich an der Größe der Patienten (NESS 2014) (Abb. 14), da die Theorie des „Crossover Punkts“ bei genau 90° des Patellarsehnenwinkels von NESS (2016) in Frage gestellt wird. Es wurde lange angenommen, dass in Bewegung die Aufhebung der femorotibialen Scherkräfte an einem „Crossover Punkt“ stattfindet, während jenem weder das kraniale noch das kaudale Kreuzband unter Spannung sind und dass dieser Punkt bei einem Patellarsehnenwinkel von 90° eintritt (MONTAVON et al. 2002, TEPIC et al. 2002, TEPIC und MONTAVON 2004). Obwohl diese Behauptung das Konzept der TTA zu unterstützen scheint, entstand sie doch hauptsächlich an ein 2-dimensionalen Modell des menschlichen Kniegelenks angelehnt und wurde noch nicht am Hund reproduziert (NISELL 1985, HOFFMANN et al. 2006, LAFEVER et al. 2007, STEIN und SCHMOEKEL 2008, VOSS et al. 2008, MILLET et al. 2013, CADMUS et al. 2014). In einer in-vitro-Studie wurde zwar gezeigt, dass femorotibiale Scherkräfte durch das Kranialisieren der Tibia beseitigt werden, der Grad zur passenden Kranialisierung zwischen den 10 verwendeten Gliedmaßen aber variierte und nicht mit einem Patellarsehnenwinkel von genau 90° übereinstimmte (APELT et al. 2007). Zusätzlich wurde ein detailliertes, 3-dimensionales mathematisches Modell entwickelt, beschrieben und durch Datenvergleiche in eingeschränktem Maß validiert und dieses deutet darauf hin, dass das kraniale Kreuzband während der gesamten Standphase unter Spannung ist, was wiederum darauf hindeutet, dass möglicherweise kein biomechanisch relevanter „Crossover Punkt“ existiert (SHAHAR und MILGRAM 2001, SHAHAR und BANKS-SILLS 2002, SHAHAR und BANKS-SILLS 2004, SHAHAR und MILGRAM 2006). Dies lässt Zweifel an den bisher angenommenen 90° als Endpunkt der TTA aufkommen (NESS 2016). Im Bezug auf die biomechanischen Konsequenzen der Operation von Maquet am menschlichen Knie beobachteten BESSETTE und HUNTER (1988), dass die Operation eine kaudal gerichtete femorotibiale Vektorkraft aufgrund der Umlenkung des Zuges des M. quadriceps erzeugt und es möglich ist, dass der klinische Nutzen der TTA bei Hunden auch vom vermehrt kaudal gerichteten Zug des M. quadriceps kommt und nicht unbedingt in Zusammenhang mit der „Crossover Punkt“-Hypothese stehen muss (NESS 2016). Daher wurde von NESS (2014) eine Tabelle erstellt, die die Keilgröße ausschließlich von der Rasse der Tiere abhängig macht (Abb. 14). Diese Informationen basieren auf der kritischen

Betrachtung von mehreren hundert Fällen, die erfolgreich über die letzten 4 Jahre operiert wurden. Obwohl diese Tabelle nicht sehr wissenschaftlich scheint, hat sie den Vorteil einfach zu sein und sie hat sich als effektiv in vielen klinischen Fällen erwiesen (NESS 2014).

Small Breed	Gauge
Chihuahua / Yorkshire Terrier	3mm
West Highland White Terrier / Jack Russell	5mm
Cavalier King Charles Spaniel	6mm
Small Cocker Spaniel / English Bulldog	7mm

Standard Breed	Gauge
Springer Spaniel / Small Border Collie / Staffordshire Bull Terrier / Weimaraner	7.5mm
Labrador / Boxer / Small Rotweiler / Standard Poodle / American Bulldog / Doberman	9mm
Malamute	10.5 - 12mm
Large Rotweiler / GSD / Newfoundland / Bull Mastiff / Dogue de Bourdeaux / Giant Breeds	12mm with double staple

Abb. 14: Tabelle mit den empfohlenen Keilgrößen der MMP für die verschiedenen Hunderassen (aus NESS 2014).

Das keilförmige Implantat aus Titanschaum sollte die Lücke im Knochen schließen, die durch die Kranialisierung entsteht, um so einen frühen strukturellen Halt erreichen und eine geeignete Grundlage für Knochenheilung durch Osteokonduktivität zu schaffen (NESS 2016) (Abb. 15). Titanimplantate werden in der Humanmedizin bereits erfolgreich genutzt (FERNANDEZ-FAIREN et al. 2010) und es ist bekannt, dass unlegiertes, chemisch reines Titan biokompatibel ist und ein geeignetes Material für orthopädische Implantate darstellt (POHLER 2000). Poröser Titanschaum wurde vor kurzem entwickelt und hat ein offensichtliches Potential für den Gebrauch bei orthopädischen Operationen (WAZEN et al. 2010). Durch eine groß angelegte Forschung wurde die optimale Porengröße ermittelt, die das Einwachsen von Knochen fördert und weil der Herstellungsprozess die genaue Kontrolle von Porengröße, Prozentsatz der Porosität und Materialdichte erlaubt, kann der Titanschaumkeil so hergestellt werden, dass die Struktureigenschaften sowie das Potential zum Einwachsen von Knochen optimiert wurden (BOBYN et al. 1980a, BOBYN et al. 1980b, RYAN et al. 2006, OCHSNER 2011). Der OrthoFoam™-Keil, der in der Studie von NESS

(2016) benutzt wurde, hatte eine durchschnittliche Porengröße von 500 μm , 80 % der Poren lagen in der als ideal für das Einwachsen von Knochen angesehenen Spanne von 50–800 μm (BOBYN et al. 1980a, BOBYN et al. 1980b, FERNANDEZ-FAIREN et al. 2010, NESS 2016)

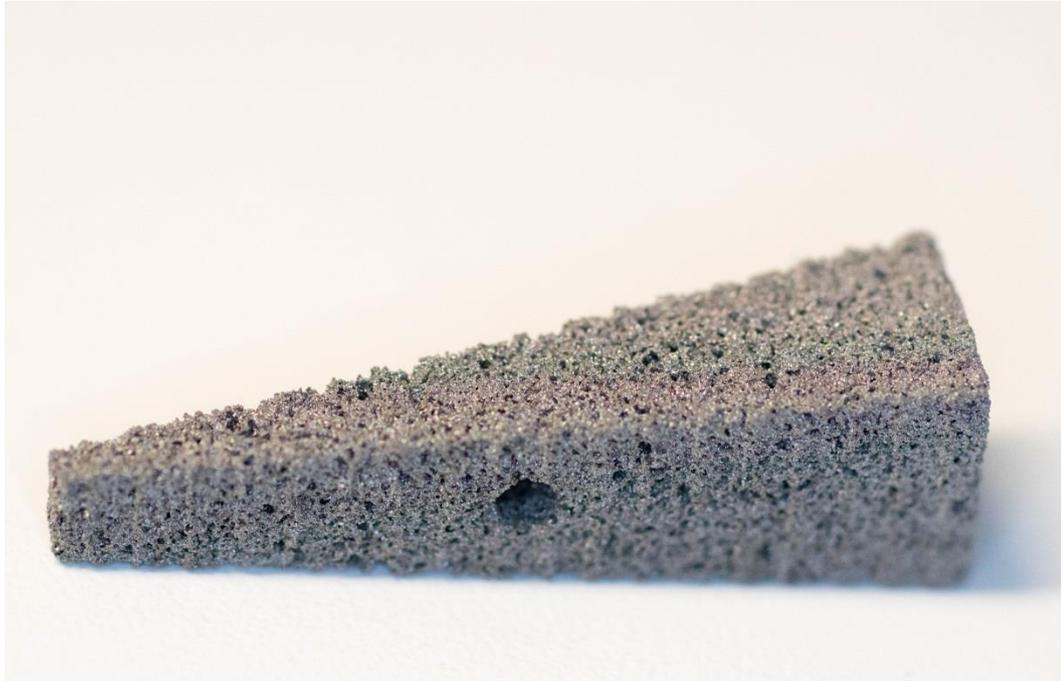


Abb. 15: Foto eines OrthoFoam™ -Titanschaumkeils (Fa. Orthomed Technology GmbH, 24568 Kaltenkirchen).

Es wurde noch von keinem Fall der implantatassoziierten Infektion berichtet (NESS 2014, NESS 2016). Da Titan eines der biokompatibelsten Materialien ist und durch die offene Porenstruktur des Schaums freie Zugänglichkeit für Gewebeflüssigkeit und Gefäße gewährleistet wird, wird das Risiko einer Infektion gesenkt. Es wurden bereits MMPs in infiziertem Gewebe durchgeführt, z. B. nach fehlgeschlagenen infizierten extrakapsulären Therapiemethoden (NESS 2014). In diesen Fällen persistierte die Infektion solange die Drahtcerclagen oder Klemmen und der Pin in situ waren. Nachdem diese entfernt wurden, wenn der Titanschaumkeil eingebaut war, verschwand die Infektion.

Da die MMP noch nicht lange durchgeführt wird, gibt es erst wenige Studien zum Outcome oder Komplikationen. In der Studie von NESS (2016) wird eine Rückkehr zu einer vollen Funktionalität mit 77 % angegeben und zu einer akzeptablen mit 8 %, wobei weitere 8 % der Hunde nicht beurteilt werden konnten. Komplikationen traten ganz am Anfang auf, als die OP-Methode neu

angewendet wurde. Dies waren Tibiafrakturen (8 %), die nicht mehr auftraten, nachdem die Position der Drahtcerclagen geändert worden war. Bei 15 % der Hunde trat eine kraniale Verschiebung des distalen Endes der Tuberositas tibiae auf. Diese Minor-Komplikation wurde allerdings nur röntgenologisch festgestellt und bereitete klinisch keinerlei Probleme. KAPLER et al. (2015) fanden heraus, dass nur 53 % der Hunde nach der MMP einen Patellarsehnenwinkel von $90 \pm 5^\circ$ aufwiesen. Die Differenz zwischen postoperativer und präoperativer Tibiabreite war signifikant kleiner als die Größe des verwendeten Keils. Die Studie war retrospektiv und es wurde kein klinisches oder funktionelles Outcome untersucht. Als Major-Komplikationen, die eine Reoperation benötigten, traten eine Tibiafraktur, eine Fraktur der Tibiavorderkante und eine Implantatwanderung auf (KAPLER et al. 2015). Die gleiche Entdeckung war auch bei der TTA schon gemacht worden (ETCHEPAREBORDE et al. 2011b)

2.6. Studien zum Vergleich zweier OP-Techniken

Einige Studien widmeten sich dem Vergleich zweier Verfahren zur Therapie des vorderen Kreuzbandrisses mithilfe biomechanischer Stabilisierungstechniken, diese werden im Folgenden erläutert.

In einer biomechanischen in-vitro-Studie wurde der Einfluss von TPLO bzw. TTA auf die femorotibialen Kontaktmechanismen und die Kniegelenkskinematik untersucht (KIM et al. 2009a, KIM et al. 2009b). Die Gliedmaßen befanden sich in speziellen Einspannvorrichtungen und es wurden Drucksensoren unter den Menisken platziert. Es wurden Messungen an gestreckten Gliedmaßen mit einem Kniegelenkwinkel von 135° bei einer Belastung von 30 % des Körpergewichts vorgenommen. Gemessen wurde zuerst mit intaktem vorderem Kreuzband, dann mit durchtrenntem vorderem Kreuzband und anschließend wurde je 1 Hintergliedmaße des gleichen Hundes mit einer TPLO und die andere mit einer TTA versorgt und erneut gemessen. Es zeigte sich, dass die TTA in der Lage war, alle Abweichungen, die nach Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes entstanden, zu eliminieren und wieder zu den Ausgangswerten des intakten Kreuzbandes zurückzukehren. Die TPLO schaffte es im Gegensatz dazu nicht, normale Werte wiederzuerlangen. Die absolute Kontaktfläche zwischen Tibia und Femur war signifikant kleiner nach der TPLO als beim gesunden Kniegelenk,

ebenso die Kontaktfläche im lateralen und medialen Kompartement und der Bereich des höchsten Drucks verschob sich nach der TPLO signifikant nach kaudal. Die TPLO schaffte es aber wie die TTA auch, die kraniale Subluxation der Tibia zu eliminieren, die nach Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes zu sehen war. Gleiche Schlussfolgerungen konnten aus einer gleich aufgebauten Studie gezogen werden, bei der das Kniegelenk in Flexion untersucht wurde (KIM et al. 2010).

DESANDRE-ROBINSON et al. (2017) evaluierten in einer neuen Studie röntgenologisch das Lig. patellae und verglichen 106 Hunde miteinander, von denen 59 mit TPLO versorgt wurden und 47 mit einer TTA. In der TTA-Gruppe zeigten bei der 1. Kontrolluntersuchung, die im Durchschnitt 4 Wochen postoperativ stattfand, 92,0 % der Hunde eine Verdickung des distalen Anteils des Lig. patellae und bei der 2. Kontrolluntersuchung, im Durchschnitt 8 Wochen postoperativ, 77,0 % der Hunde. In der TPLO-Gruppe gab es bei der 1. Kontrolluntersuchung, die durchschnittlich 3 Wochen postoperativ stattfand, bei 97,0 % der Hunde eine Verdickung des distalen Anteils und bei der 2. Kontrolluntersuchung, durchschnittlich 6 Wochen postoperativ, bei 92 % der Hunde. Somit ergab sich für die Hunde der TTA-Gruppe eine signifikante Abnahme der Verdickung des distalen Anteils des Lig. patellae zwischen 1. und 2. Kontrolluntersuchung, für die Hunde der TPLO-Gruppe nicht. Ebenso gab es eine signifikante Abnahme der Verdickung des proximalen Anteils des Lig. patellae von der 1. zur 2. Kontrolluntersuchung nur für die Hunde der TTA-Gruppe.

FERREIRA et al. (2016) untersuchten mittels laufbandgestützter Ganganalyse im Schritt das Outcome 14, 30, 60 und 90 Tage nach TPLO (n = 15) bzw. TTA (n = 12) zur Therapie einer einseitigen vorderen Kreuzbandruptur bei Hunden mit mehr als 20 kg Körpergewicht. Es zeigte sich zu keinem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied in mittlerer Gliedmaßenkontaktzeit, vertikaler Spitzenkraft und vertikalem Impuls zwischen der TPLO- und der TTA-Gruppe. Bei 8 Hunden der TPLO-Gruppe und bei 3 Hunden der TTA-Gruppe traten Minor-Komplikationen auf, in beiden Gruppen gab es aber keine Komplikation, die einer Reoperation bedurfte.

KROTSHECK et al. (2016) untersuchten das Langzeit-Outcome nach TTA, TPLO und einer extrakapsulären Technik, ebenfalls mittels laufbandgestützter Ganganalyse. Die Hunde wiesen einen unilateralen Kreuzbandriss auf und wogen

mehr als 15 kg. Sie liefen präoperativ und 2 und 8 Wochen sowie 6 und 12 Monate postoperativ im Schritt und im Trab auf dem Laufband. Außerdem gab es eine gesunde Kontrollgruppe. Untersucht wurden die Symmetrie-Indizes der vertikalen Spitzenkraft („peak vertical force“ = PVF), des vertikalen Impulses („vertical impulse“ = VI) und der Standphasendauer (SD). Im Schritt erreichte die TTA-Gruppe durchschnittlich erst nach 300 Tagen gleiche PVF-, VI- und SD-Symmetrie-Indizes wie die Kontrollgruppe, während die TPLO-Gruppe diese schon nach 150 Tagen erreichte. Während der ersten 49 Tage nach der OP war die TTA-Gruppe in Bezug auf PVF und VI signifikant weniger lahm als die TPLO-Gruppe und die Gruppe mit der extrakapsulären Technik. Die Symmetrie-Indizes der Gruppe mit der extrakapsulären Technik waren zu allen Zeitpunkten im Schritt signifikant kleiner als die der Kontrollgruppe. Im Trab erreichten durchschnittlich weder die TTA-Gruppe noch die Gruppe mit der extrakapsulären Technik normale Symmetrie-Indizes für PVI, VI und SD. Die TPLO-Gruppe erreichte im Durchschnitt im Trab gleiche Symmetrie-Indizes wie die Kontrollgruppe für SD nach 50 Tagen, für PVF und VI nach 150 Tagen.

CHRISTOPHER et al. (2013) verglichen das Langzeitoutcome mehr als 1 Jahr nach TPLO, TTA oder TightRope®-Technik (TR), bis auf die von den Untersuchern erfassten Komplikationen allerdings ausschließlich basierend auf der subjektiven Einschätzung durch die Besitzer. Abgefragt wurden Funktionalität und Schmerzhaftigkeit. In der TTA-Gruppe gab es signifikant mehr Major-Komplikationen als in der TPLO- und TR-Gruppe und in der TPLO-Gruppe signifikant mehr als in der TR-Gruppe. In allen Gruppen waren dies hauptsächlich sekundäre Meniskusläsionen. Bezüglich der Minor-Komplikationen gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Gruppen. Die Besitzer konnten für Funktionalität und Schmerzhaftigkeit Punkte von 0 bis 100 vergeben. 0 Punkte bei der Funktionalität bedeuteten eine dauerhafte Entlastung der operierten Gliedmaße und 100 Punkte ein normales Gangbild ohne Lahmheit. Bei der Schmerzhaftigkeit bedeuteten 0 Punkte keinen Schmerz und 100 Punkte konstante, starke Schmerzen. Das Level der Funktionalität wurde von den Besitzern für die TPLO-Gruppe mit $93,1 \pm 10$ bewertet, für die TTA-Gruppe mit $89,2 \pm 11,6$ und für die TR-Gruppe mit $92,7 \pm 19,3$, das Level der Schmerzhaftigkeit mit $12,2 \pm 21,9$ für die TPLO-Gruppe, mit $17,1 \pm 23,4$ für die TTA-Gruppe und mit $14,7 \pm 23,8$ für die TR-Gruppe. In beiden Kategorien gab es

keine signifikanten Unterschiede. Außerdem bewerteten die Besitzer, ob ihre Hunde eine volle, akzeptable oder nicht akzeptable Funktion der operierten Gliedmaße wiedererlangt hatten. Hier gab es keine signifikanten Unterschiede im Bezug auf akzeptable oder nicht akzeptable Funktion, aber in der TPLO- und TR-Gruppe gab es signifikant und 4-mal häufiger ein Zurückkehren zur vollen Funktion als in der TTA-Gruppe.

Eine Arbeit, bei der die jeweils ersten 85 vom gleichen Operateur durchgeführten TPLOs und TTAs miteinander verglichen wurden, zeigt eine vergleichbare Inzidenz von Früh- und Spätkomplikationen (VEZZONI 2006). Als Frühkomplikationen trat bei einer TPLO 1 Tibiafraktur auf, in der TTA-Gruppe gab es 3 Fälle von Implantatversagen und 1 Fall mit partiellem Riss des Lig. patellae. Als Spätkomplikationen gab es bei den TPLOs 1 Pivot-shift-Phänomen und 1 Fistelbildung bis zur Platte und bei den TTAs 1 Osteosarkom, 3 sekundäre Meniskusläsionen und 1 persistierende Gelenkinstabilität. VEZZONI (2006) empfiehlt die TTA nicht bei Hunden mit einem Tibiaplateauwinkel von mehr als 27° durchzuführen.

Da es noch keine Arbeiten zum Vergleich von TPLO und MMP gibt, wurden die Vergleichsarbeiten zwischen TPLO und TTA herangezogen.

2.7. Ganganalyse

Der Begriff der Biomechanik wurde von HATZE (1974) geprägt und gilt für Menschen, Tiere und Pflanzen. Er wird in 3 Gebiete unterteilt, die Biodynamik, die Biostatik und die Biokinematik. Die Biostatik beschreibt ein sich im Gleichgewicht befindendes, ruhendes, biologisches System, die Biodynamik betrachtet Kräfte und Massen während der Bewegung eines Körpers und die Biokinematik beschreibt biologische Bewegungen anhand geometrischer Funktionen. OFF und MATIS (1997a) definieren die Biostatik, die sich mit den Kräfteverhältnissen am ruhenden Körper beschäftigt, und die Biodynamik, die das gleiche am bewegten Körper untersucht, als die 2 großen Gruppen der Biomechanik. Die Biodynamik wird wiederum unterteilt in die Biokinematik und die Biokinetik, wobei erstere rein geometrische Beschreibungen der Bewegung umfasst und letztere die auf einen Körper wirkenden Kräfte und die daraus resultierende Bewegung erfasst. Somit stehen zur Messung 2 verschiedene

Verfahren zur Auswahl, die Reaktionskraftmessung und die Bewegungsanalyse.

Die Evolution der Technologie in der computergestützten Ganganalyse hat über die letzten 2 Jahrzehnte zu einer quantitativen Verbesserung der Definition von räumlich-zeitlichen Gangmerkmalen geführt (GILLETTE und ANGLE 2008). Dieser technische Fortschritt hat geholfen, Wissenschaftlern und Klinikern ein besseres Verständnis der kaninen Fortbewegung zu vermitteln. Die Verwendung von kinematischer und kinetischer Ganganalyse hat sich als sinnvolles Werkzeug in der Tiermedizin erwiesen. In der Lahmheitsdiagnostik können optische Wahrnehmungen messtechnisch dokumentiert werden, sowie Kompensationsmechanismen und Belastungsverhältnisse nach orthopädischen Eingriffen genauer definiert werden (OFF und MATIS 1997a).

2.7.1. Statik

Im Stand, bei gleichmäßiger Belastung aller 4 Gliedmaßen, liegt der Körperschwerpunkt eines Hundes näher an den Vorder- als an den Hinterbeinen, wodurch die Vordergliedmaßen etwas mehr Gewicht als die Hintergliedmaßen tragen (SEIFERLE und FREWEIN 2004). Bei hochläufigen Hunderassen liegt der Körperschwerpunkt im Durchschnitt bei 43,72 % der Rumpflänge, also hinter der Brustbeinspitze, was in etwa der Höhe des 9. Interkostalraumes entspricht (LARCHÉ 1962). Je kräftiger und schwerer Kopf, Hals und Brustkorb des Hundes im Vergleich zu Becken und Hintergliedmaßen sind, desto weiter kranial liegt der Körperschwerpunkt. Es konnten gezeigt werden, dass rasseabhängig der Körperschwerpunkt weiter kranial (Boxer, Whippet, Greyhound, Barsoi) oder weiter kaudal (Deutsch Drahthaar, Pointer, Pudel, Dobermann, Rottweiler, Airedaleterrier, Schäferhund) liegen kann. Erstgenannte tragen 70–80 % des Körpergewichts mit den Schultergliedmaßen, letztgenannte nur 58–69 %. Ein gesunder Hund belastet beide Körperhälften gleichmäßig, sodass je Vorderbein etwa 30 % und je Hinterbein etwa 20 % der Last getragen werden (BUDSBERG et al. 1987). Bei einem orthopädisch kranken Hund wird sein Körperschwerpunkt weg von der erkrankten Gliedmaße verlagert (ROY 1971). Bei einer Erkrankung der Hintergliedmaßen wird z. B. von den Vordergliedmaßen vermehrt Last aufgenommen, sodass die Belastung der Vordergliedmaßen auf bis zu 90 % der Körperlast steigen kann.

Da die Vorhand im Stand und in der Bewegung mehr belastet ist als die Hinterhand, entspricht die Vordergliedmaße eher einer vertikal stützenden Säule bzw. einem Auffanghebelwerk der ihr von hinten zugeschobenen Last (SEIFERLE und FREWEIN 2004). Die Beckengliedmaße ist das Stemm- oder Wurfhebelwerk, das die Hauptschubkräfte zur Vorwärtsbewegung zu liefern hat und deshalb stärker gewinkelt und bemuskelt ist.

2.7.2. Dynamik

Die Vorwärtsbewegung wird bei Haussäugetieren immer durch das Strecken der Gelenke der Hintergliedmaßen und das Abstemmen derer gegen den Boden ausgelöst (SEIFERLE und FREWEIN 2004). Dieser zunächst bodenwärts gerichtete Druck wandelt sich in einen nach vorne gerichteten Schub um, der sich durch Vermittlung des Beckens in der Bewegungsrichtung auf den Rumpf überträgt. Der Schwerpunkt erfährt dadurch eine Verschiebung in Richtung der diagonalen Vordergliedmaßen, die sich jetzt vom Boden hebt und gefolgt von der Hintergliedmaße, die den Schub ausgelöst hat, nach vorne schwingt, um den Schwerpunkt wieder aufzufangen. Währenddessen haben sich auch die Gelenke der anderen Hintergliedmaße zu strecken begonnen, wodurch der Schwerpunkt in der Richtung der anderen Diagonale nach vorne gestemmt wird. Bei langsamer Bewegung ergibt sich daraus ein Hin- und Herpendeln des Schwerpunktes nach links und rechts von der Medianebene, was mit rhythmischen Seitwärtsschwingungen des Rumpfes, sowie des Kopfes und Schwanzes verbunden ist.

2.7.3. Zeitlicher Ablauf des Ganges

LEACH (1993) definierte einen Schritt als einen vollständigen Bewegungszyklus und somit als kleinste, sich zyklisch wiederholende Einheit eines Ganges. An Vorder- und Hintergliedmaße lassen sich die 4 zeitlich unterschiedlich langen Bewegungsphasen unterscheiden: der Moment des Hebens, danach die Phase des Schwingens, während der die Gliedmaße zuerst unter Beugung und dann unter Streckung ihrer Gelenke nach vorne geführt wird, dann folgt die Phase des Stützens des Rumpfes, wenn sie wieder Fuß gefasst hat, wobei durch dessen Gewicht zuerst die Gelenke etwas gebeugt und durch kräftige

Muskelkontraktionen neuerdings gestreckt werden und damit die Phase des Stemmens eingeleitet wird (SEIFERLE und FREWEIN 2004). Während des Hebens und der Schwingphase befindet sich die Gliedmaße in der Hangbein- oder Schwingphase, während der Stütz- und Stemmphase in der Periode der Stützbein- oder Standphase. COLBORNE et al. (2006) zeigten, dass sich das Verhältnis von Stand- und Schwingphase auch innerhalb einer Gangart je nach Geschwindigkeit verändert. LEACH et al. (1977) konnte in seiner Studie unter Verwendung von Kraftmessplatten zeigen, dass die Vordergliedmaßen eine 1,5-mal größere Kontaktzeit als die Hintergliedmaßen hatten.

2.7.4. Kinetik

Die Kinetik beschäftigt sich wie schon unter 2.7. erläutert mit den auf einen Körper wirkenden Kräften, welche in der Ganganalyse als Bodenreaktionskräfte bezeichnet werden (OFF und MATIS 1997a, OFF und MATIS 1997b). BUDSBERG et al. beschrieben diese Kräfte bei gesunden Hunden und bei Hunden nach chirurgischer Versorgung eines vorderen Kreuzbandrisses (BUDSBERG et al. 1987, BUDSBERG et al. 1988). Es wurden dabei erstmals 3 Ebenen der Kräfte unterschieden. Bei der vertikalen Bodenreaktionskraft F_z handelt es sich im Stand um eine Gewichtskraft, in der Bewegung um Gewichtskraft und Beschleunigungskräfte, die während der Standphase ausgeübt werden (BUDSBERG et al. 1987). Der Verlauf der Kraft ist als vertikale z-Achse definiert. F_y ist die in kraniokaudaler Richtung wirkende Kraft und somit entweder Schub- oder Bremskraft und als y-Achse definiert. Die x-Achse stellt die Querkräfte in mediolateraler Richtung dar (Abb. 16).

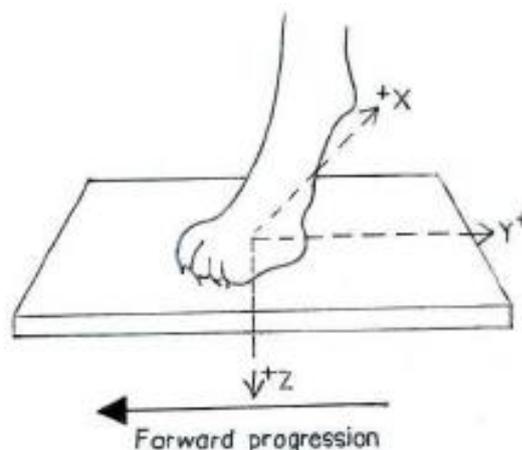


Abb. 16: Darstellung der 3 Bodenreaktionskräfte F_z , F_x und F_y (aus BUDSBERG et al. 1987).

Da die vertikale Bodenreaktionskraft die größte und dadurch am besten reproduzierbare Kraft darstellt, ist diese am aussagekräftigsten und findet am häufigsten Verwendung (BUDSBERG et al. 1993, RUMPH et al. 1994, BUDSBERG et al. 1995). Es wird der maximale Wert der vertikalen Bodenreaktionskraft während der Standphase beurteilt, dieser wird als vertikale Spitzenkraft („peak vertikal force“ = PVF) bezeichnet und ist bei einer Lahmheit reduziert (DECAMP 1997). Um verschieden große Tiere miteinander vergleichen zu können, werden die absoluten in Newton angegebenen Kräfte auch als relative Werte prozentual zum Körpergewicht in % KGW angegeben (OFF und MATIS 1997b). BUDSBERG et al. (1987) beschrieben für die Vordergliedmaßen für die vertikale Spitzenkraft von etwa 70 % und für die Hintergliedmaßen von etwa 50 %. Außer der PVF wird am häufigsten der vertikale Impuls der vertikalen Bodenreaktionskraft („vertical impulse“ = VI) angegeben, der das Integral der gesamten Kraft über die Standphasendauer darstellt (BUDSBERG et al. 1987). Mit dem Symmetrie-Index, einem einheitslosen Wert, können Lahmheiten der Vorder- und Hintergliedmaßen dargestellt werden (VOSS et al. 2007, LAYER 2012). Er beurteilt die Gleichmäßigkeit der Belastung der zu vergleichenden Gliedmaßen.

EVANS et al. (2005), die gesunde Labradore und Labradore mit kranialer Kreuzbandinsuffizienz untersuchte, fanden heraus, dass die Ganganalyse mit dem Messen von Bodenreaktionskräften eine präzise Methode zur Lahmheitsbeurteilung darstellt und genauer ist als die visuelle Beurteilung. In dieser Studie erreichten nach der chirurgischen Versorgung 75 % der Hunde nicht die gleichen Werte wie gesunde Hunde, obwohl sie als lahmheitsfrei eingestuft wurden. Die höchste Sensitivität und Spezifität erreichten sie mit einer Kombination aus der Bestimmung von PVF und der Rate der Entlastung beim Abheben der Pfote vom Boden.

2.7.5. Kinematik

Da die Kinetik zwar die Funktion der Gliedmaßen beschreibt, aber keine gelenkspezifischen Ergebnisse liefert, stellt die Kinematik eine wichtige Ergänzung der kinetischen Werte eines Patienten dar (DECAMP 1997). Sie kann mithilfe eines Kamerasystems und reflektierenden Markern erfasst werden, diese

bestehen aus mit reflektierender Folie überzogenen Kugeln und werden an bestimmten palpierbaren Knochenpunkten fixiert (OFF und MATIS 1997b). Die Bewegungsanalyse an einer Hintergliedmaße benötigt mindestens 5 Marker: Os metatarsale quintum (j), Malleolus fibulae (i), Epicondylus lateralis femori (h), Trochanter major (g) und Crista iliaca (f) (Abb. 17).

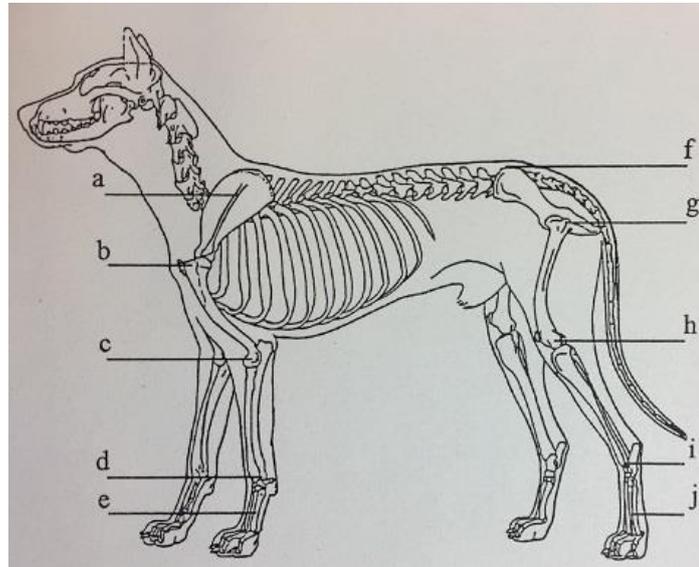


Abb. 17: Darstellung der Knochenpunkte, die durch einen Marker gekennzeichnet werden (aus OFF und MATIS 1997b).

Je 3 Marker definieren einen Gelenkwinkel: α = Hüftgelenkwinkel aus Punkten f, g und h; β = Kniegelenkwinkel, aus Punkten g, h und i; γ = Sprunggelenkwinkel, aus Punkten h, i und j (Abb. 18).

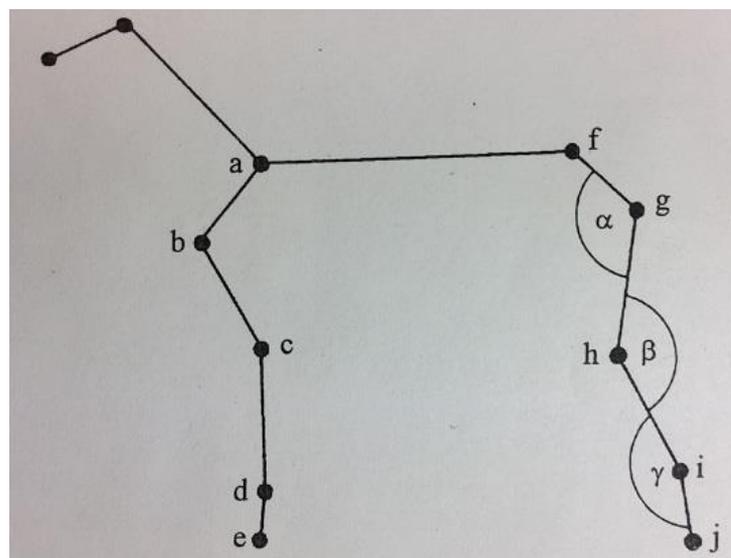


Abb. 18: Darstellung der Gelenkwinkel (aus OFF und MATIS 1997b). Immer 3 Marker definieren einen Gelenkwinkel.

Im 3-dimensionalen Raum kann die genaue Position eines Markers durch die kinematische Messung der am Tier aufgebrachten Marker für einen exakten Zeitpunkt bestimmt werden (GILLETTE und ANGLE 2008). Dadurch wird es möglich, den Bewegungsumfang („range of motion“ = ROM) für ein Gelenk zu bestimmen, indem die Differenz zwischen den beiden maximalen Werten von Streckung und Beugung in einer Ebene errechnet wird (DECAMP et al. 1993, LEACH 1993, OFF und MATIS 1997a, OFF und MATIS 1997b). Dieser Bewegungsumfang wird vom Gesundheitszustand des betreffenden Gelenks und der Hunderasse beeinflusst, auch individuelle Einflüsse können eine Rolle spielen (RAITH 2010). Zusätzlich zum Bewegungsumfang können auch die Winkelgeschwindigkeit und die Winkelbeschleunigung berechnet werden (OFF und MATIS 1997b). Außerdem kann der Zeitpunkt des Auftretens eines kinematischen Ereignisses in Bezug auf den gesamten Schrittzklus ermittelt werden und wird als „time of occurrence“ (TOO) bezeichnet (DECAMP et al. 1993, LEACH 1993, OFF und MATIS 1997a, OFF und MATIS 1997b, GILLETTE und ANGLE 2008).

3. MATERIAL UND METHODEN

3.1. Patienten

In diese Studie eingeschlossen wurden Hunde jeglicher Rasse und jeglichen Alters, die bei der Erstvorstellung ein Körpergewicht zwischen 20 und 35 kg aufwiesen. Die Hunde mussten eine einseitige Hinterhandlahmheit aufgrund einer vorderen Kreuzbandruptur zeigen und als Voraussetzung zur Teilnahme an der Studie auf dem Laufband laufen. Die Besitzer mussten einwilligen, mit ihrem Hund an der Studie teilnehmen zu wollen und wurden darüber informiert, welche OP-Methode ihr Hund bekommen würde. Wollten sie diese Methode nicht, konnten sie nicht an der Studie teilnehmen.

3.2. Untersuchungsablauf

Es handelt sich um eine prospektive, randomisierte Studie. Die eine Gruppe erhielt eine TPLO, die andere eine MMP, die Reihenfolge war alternierend. Die Patienten beider Gruppen wurden präoperativ, sowie 6 Wochen, 3 Monate und ≥ 6 Monate postoperativ klinisch-orthopädisch, röntgenologisch und ganganalytisch untersucht, außerdem wurden das Geschlecht, Gewicht und Alter des Tieres erfasst. Wenn ein Hund auf der einen Seite bereits operiert war, wurde auf der zweiten Seite die gleiche OP-Methode angewandt wie auf der ersten Seite. Die Operationen und Untersuchungen fanden in der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der LMU München und über einen Zeitraum von 4 Jahren statt, vom 18.09.2012 bis 14.10.2016. Operiert wurden die Tiere von 2 erfahrenen Chirurgen.

3.2.1. Klinisch-orthopädische Untersuchung

Zusätzlich zur klinisch-orthopädischen Untersuchung wurden jedes Mal eine Allgemeinuntersuchung und eine klinisch-neurologische Untersuchung durchgeführt. Die klinisch-orthopädische Untersuchung erfolgte wie in Tabelle 1 dargestellt mittels Beurteilungskriterien modifiziert nach ARTHURS (2011a), ARTHURS (2011b) und BERGER (2014). In der Tabelle sind die Untersuchungsergebnisse des betroffenen Kniegelenks aufgeführt. Falls andere

Befunde auffällig waren, wurden diese gesondert festgehalten. Die Daten der klinischen Untersuchung wurden für die statistische Auswertung bei den Hunden mit zwei im Rahmen der Studie operierten Gliedmaßen gemittelt. Präoperativ wurde zusätzlich in Narkose erfasst, ob ein Meniskusklick bei Beugung und Streckung vorhanden war oder nicht. Außerdem wurde zu allen Untersuchungszeitpunkten der Oberschenkelmuskelumfang beidseits auf Höhe des Trochanter major ossis femoris gemessen und daraus die Muskelatrophie in cm bestimmt. Für die Auswertung der Muskelatrophie wurden nur die Tiere herangezogen, die einen einseitigen Kreuzbandriss hatten oder Tiere, bei denen die Kontrolluntersuchungen der 1. Seite abgeschlossen waren, bevor sie einen Kreuzbandriss auf der 2. Seite erlitten.

Tab. 1: Gradeinteilungen der einzelnen Beurteilungskriterien in der klinischen Untersuchung.

<p>Lahmheit (LH):</p> <p>0 keine Lahmheit – Gangbild ungestört</p> <p>1 undeutlich geringgradige LH – Gangbild kaum gestört</p> <p>2 deutlich geringgradige LH – Gangbild gestört</p> <p>3 mittelgradige LH – Gangbild gestört</p> <p>4 hochgradige LH - Gangbild hochgradig gestört</p>
<p>Belastungsgrad (BG):</p> <p>0 belastet selten oder gar nicht</p> <p>1 vorsichtiges Aufsetzen der betroffenen Gliedmaße im Stand, im Schritt keine Belastung</p> <p>2 vorsichtiges Auftreten im Schritt und Stand</p> <p>3 gutes Auftreten im Schritt und Stand, teilweise Entlastung</p> <p>4 kaum merkliche Entlastung der Gliedmaße im Stand, im Gang normale Belastung</p> <p>5 permanente Belastung im Stand und allen Gangarten</p>
<p>Schmerzhaftigkeit:</p> <p>0 nicht schmerzhaft</p> <p>1 stoisch, keine Schmerzäußerung</p> <p>2 schmerzhaft bei Flexion</p> <p>3 schmerzhaft bei Extension</p> <p>4 schmerzhaft bei Extension und Flexion</p> <p>5 schmerzhaft bei jeglicher Manipulation</p>
<p>Gelenkerguss/Gelenkfüllung palpatorisch:</p> <p>0 keine Gelenkfüllung, Lig. patellae palpatorisch eindeutig abgrenzbar</p> <p>1 geringgradiger Gelenkerguss, Lig. patellae palpatorisch undeutlich abgrenzbar</p> <p>2 mittelgradiger Gelenkerguss, Lig. patellae palpatorisch schwer abgrenzbar</p> <p>3 hochgradiger Gelenkerguss, Lig. patellae palpatorisch nicht abgrenzbar</p>
<p>Fibrose palpatorisch:</p> <p>0 keine Gelenkfibrose</p> <p>1 Gelenkfibrose, palpatorisch periartikuläre Fibrose auf der medialen Seite des Kniegelenks</p>
<p>Krepitation palpatorisch bei Beugung und Streckung des Kniegelenks:</p> <p>0 keine Krepitation</p> <p>1 geringgradige Krepitation</p> <p>2 mittelgradige Krepitation</p> <p>3 hochgradige Krepitation</p>
<p>Schubladentest:</p> <p>0 negativ/nicht auslösbar</p> <p>1 fraglich positiv</p> <p>2 geringgradig positiv</p> <p>3 mittelgradig positiv</p> <p>4 hochgradig positiv</p>
<p>Tibiakompressionstest:</p> <p>0 negativ</p> <p>1 fraglich positiv</p> <p>2 geringgradig positiv</p> <p>3 mittelgradig positiv</p> <p>4 hochgradig positiv</p>
<p>Sitztest:</p> <p>0 negativ</p> <p>1 positiv</p>

3.2.2. **Röntgen**

Von allen Patienten wurden bei jeder Untersuchung (präoperativ, sowie 6 Wochen, 3 Monate und ≥ 6 Monate postoperativ) Röntgenbilder des betroffenen Kniegelenks in mediolateralem und kaudokranialem Strahlengang angefertigt (Röntgengerät: Axiom Luminos dRF, Fa. Siemens Healthcare GmbH, Erlangen). Um ein Voranschreiten osteoarthrotischer Veränderungen vergleichend bei beiden OP-Methoden beurteilen zu können, wurde das Bewertungsschema nach MAGER (2000) verwendet. Die Veränderungen am Kniekehle- und Kniescheibengelenk, die auf den Röntgenbildern zu sehen waren, wurden in die folgenden vier Kategorien eingeteilt (Abb. 19)

Kategorie 1: keine radiologischen Anzeichen für arthrotische Veränderungen

Kategorie 2: geringe Unschärfen an den Gelenkenden von Tibia und Femur, leichte Ausziehungen an der Patella

Kategorie 3: Strukturverdichtung der Gelenkenden von Tibia und Femur, Zubildungen an den Kondylen der Tibia, stärkere Ausziehungen an der Patella, unscharfe Konturen der Ossa sesamoidea des M. gastrocnemius

Kategorie 4: starke Knochenzubildungen an den Gelenkenden, vermehrte Plateaubildung an der kaudalen Tibia, sehr starke Patellausziehung, deutliche Bildung von Pommerschen Randwülsten, starker Konturverlust an den Sesambeinen, Gelenkspaltverengung

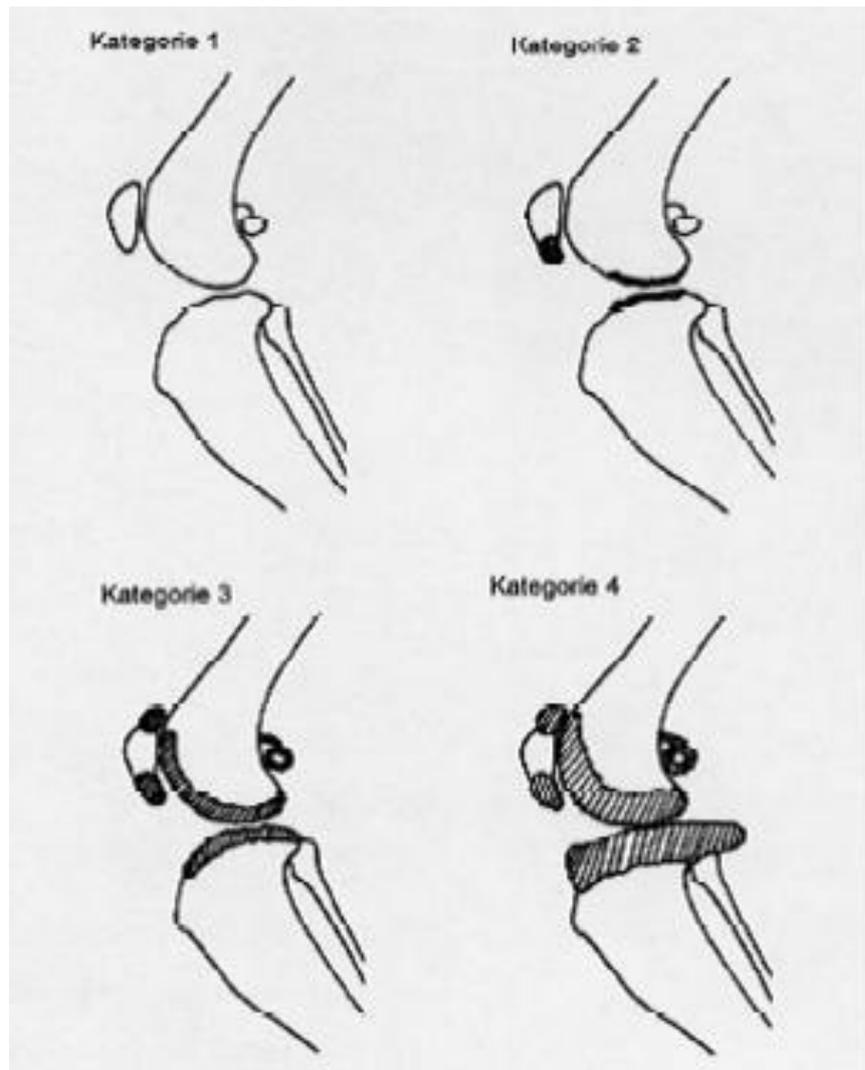


Abb. 19: Bildliche Darstellung der Osteoarthrosekategorien: Kategorie 1 = keine radiologischen Anzeichen für arthrotische Veränderungen; Kategorie 2 = geringe röntgenologische Veränderungen; Kategorie 3 = deutliche arthrotische Veränderungen mit geringer Knochenzubildung und -ausziehung; Kategorie 4 = starke Zubildungen und Ausziehungen, sowie enorme Strukturverdichtung des Knochens (aus MAGER 2000).

Zur Beurteilung wurden an 15 definierten Knochenpunkten jeweils Werte von 1 bis 4 vergeben:

- 1 = keine osteoarthrotischen Veränderungen
- 2 = geringgradige osteoarthrotische Veränderungen
- 3 = mittelgradige osteoarthrotische Veränderungen
- 4 = hochgradige osteoarthrotische Veränderungen

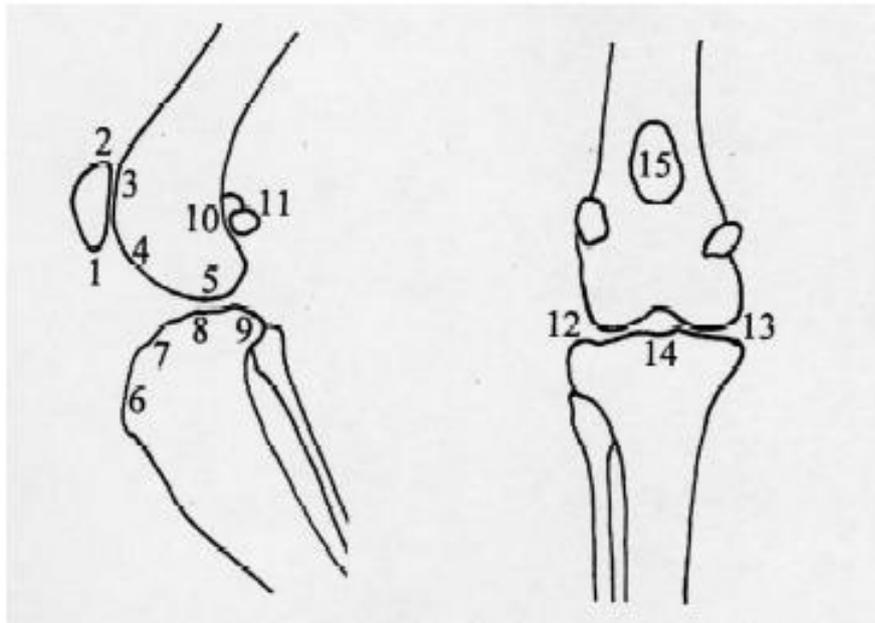


Abb. 20: Die 15 definierten Knochenpunkte, die jeweils einen Wert von 1 bis 4 erhalten (aus MAGER 2000).

Legende der Knochenbereiche (Abb. 20)

Mediolateraler Strahlengang:

- 1 Apex patellae
- 2 Basis patellae
- 3 Proximaler Bereich der Trochlea ossis femoris
- 4 Distaler Bereich der Trochlea ossis femoris
- 5 Bereich der Kondylen des Femur
- 6 Bereich der Tuberositas tibiae
- 7 Kranialer Bereich der Tibiakondylen
- 8 Kaudaler Bereich der Tibiakondylen
- 9 Tibiaplateau
- 10 Bereich der Facies poplitea
- 11 Ossa sesamoidea m. gastrocnemii

Kaudokranieler Strahlengang:

- 12 Laterale Kondylen von Femur und Tibia
- 13 Mediale Kondylen von Femur und Tibia
- 14 Bereich der Fossa intercondylaris
- 15 Patella

Anschließend wurde die Summe aus den 15 Einzelwerten gebildet und der Quotient daraus berechnet. Für Patienten mit einem beidseitig im Rahmen der Studie operierten Kreuzbandriss wurde für die statistische Auswertung das Knie herangezogen, welches präoperativ den kleineren Arthrosegrad aufwies.

3.2.3. MRT-Untersuchung

Bei jedem Patienten wurde präoperativ eine MRT-Untersuchung des betroffenen Kniegelenks durchgeführt, um das Vorliegen einer Meniskusläsion zu überprüfen und um bei partiellen Kreuzbandrupturen die Diagnose zu bestätigen (Magnetresonanztomograph: MAGNETOM Symphony, 1,5 Tesla, Fa. Siemens Healthcare GmbH, Erlangen). Die Patienten wurden in Brust-Bauchlage mit gestreckten Hintergliedmaßen gelagert. Eine flexible Oberflächenspule (CP Flex Small Coil oder CP Body Array Flex Coil) in Verbindung mit einer Wirbelsäulenspule (CP Spine Array Coil) wurde als Sende- und Empfangsspule eingesetzt. Folgende Sequenzen wurden durchgeführt: T1-Wichtung in transversaler Ebene, Protonendichte-Wichtung mit Fettsaturation (PDfs) in dorsaler und sagittaler Ebene, T2-Wichtung in sagittaler Ebene. Weitere wichtige Daten: Schichtdicke: 2,5 mm (in seltenen Fällen bei großen Hunden mit großen Kniegelenken: 3 mm); Schichtabstand (in % von der Schichtdicke): 10 %; Field of View (FOV): 180–220 mm; Repetitionszeit (TR): 300–500 ms (T1-Wichtung) bzw. 4000–5500 (T2-Wichtung) bzw. 2000–4000 (PDfs-Wichtung); Echozeit (TR): 13 ms (T1-Wichtung) bzw. 100–120 ms (T2-Wichtung) bzw. 30–32 ms (PDfs-Wichtung); Mittelungen: 2–3; Basisauflösung/Matrix: 320 (T1-Wichtung) bzw. 384 (PDfs-Wichtung, T2-Wichtung). Ein „Image Filter“ in Form eines elliptischen Filters wurde immer verwendet zur Verbesserung des Signal-Rausch-Verhältnisses. Beurteilt wurde die Meniskusform, seine Lage, Kontur und Signalgebung, insbesondere in der PDfs-Wichtung, und auffällige

Signalsteigerungen, Konturstörungen, Deformationen oder Dislokationen aus der normalen Position wurden als verdächtig für eine Meniskusläsion gewertet (Abb. 6), minimale Konturstörungen und minimale Signalalterationen als negativ gewertet. Das vordere und hintere Kreuzband wurden darauf untersucht, ob sie durchgängig abgrenzbar waren und sich signalarm- bzw. signallos darstellten. Wenn die Kontur des vorderen Kreuzbandes unscharf war und sich signalgesteigert darstellte, wurde es als vollständige Ruptur (Abb. 5), bei noch nachvollziehbarem durchgängigem Faserverlauf als partielle Ruptur gewertet.

3.2.4. Die computergestützte Ganganalyse

Um den Operationserfolg objektiv bewerten zu können, wurden alle Patienten 4-mal (präoperativ, sowie 6 Wochen, 3 Monate und ≥ 6 Monate postoperativ) ganganalytisch untersucht. Die Untersuchung erfolgte im Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München (Abb. 21). Das Laufband ist in eine 5,7 m x 1,2 m große und 28 cm hohe Vorrichtung eingelassen und besteht aus 2 rutschfesten Kunststoffbändern, die über eine Fläche von 1,40 m x 0,8 m sichtbar sind. Die Geschwindigkeit der Bänder kann bis auf 0,02 m/s reguliert werden und wird mithilfe einer Software der Firma Simi Reality Motion Systems GmbH aus Unterschleißheim gesteuert. Unterhalb des sichtbaren Anteils befinden sich 4 modifizierte piezoelektrische Kistler-Kraftmessplatten, die jeweils 70 x 40 cm groß sind und die über einen Verstärker und einen Signalwandler mit dem Computer verbunden sind. Mit diesen Kraftmessplatten sind Messungen aller 3 Kraftkomponenten (x-, y-, z-) möglich.



Abb. 21: Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.

Die Patienten wurden mithilfe des optischen Systems Vicon V-MX Motion Capture (4 Channel Vicon MX 3+), bestehend aus 6 Highspeed-Infrarot-Kameras (Vicon MX+), den Wandlungseinheiten MX-LabControl64 und MX Ultranet HD sowie 2 Computern, aufgenommen. Außerdem gibt es um das Laufband herum 9 digitale Kameras (Sony Exwave HAD). Für die Ausleuchtung des Raums sorgt ein Belichtungssystem aus der Film- und Fernsehtechnik.

Die Hunde wurden mit Markern versehen, die aus Holzkugeln mit einem Durchmesser von 10 mm bestanden, die mit reflektierendem Material beklebt waren, und mithilfe der Software Vicon Nexus 1.7.1 aufgenommen und nachbearbeitet. Diese Marker wurden mittels doppelseitigen Klebebands auf dem gescheitelten Fell an den Hunden angebracht. Als Grundlage für das hier verwendete Markermodell diente ein bereits etabliertes Markermodell (RAITH 2010), das auf tastbaren Knochenpunkten basiert. Das Markermodell dieser Studie umfasste 24-25 Marker (je nach Schwanzlänge) (Abb. 22):

WS:	Dornfortsatz des 13. Brustwirbels
LWScr:	Dornfortsatz des 3. Lendenwirbels
LWSmed:	Dornfortsatz des 5. Lendenwirbels
LWScal:	Dornfortsatz des 7. Lendenwirbels
Sacrum:	Mitte des Os sacrum
SWS1:	Rutenbasis
SWS2, 3, ggf 4:	auf den verbleibenden Schwanz wurden nach dem Schwanzbasismarker je nach Rutenlänge noch 2-3 Marker im gleichen Abstand geklebt

jeweils rechts und links symmetrisch:

Ischia:	Tuber ischiadicum
Iliaca:	dorsalster Punkt an der Crista iliaca
Tro:	Trochanter major ossis femoris
Fem:	Zwischenmarker auf der Hälfte der Strecke zwischen Trochanter major ossis femoris und Epicondylus lateralis ossis femoris
Knie:	Epicondylus lateralis ossis femoris
Tibia:	Zwischenmarker auf der Hälfte der Strecke zwischen Epicondylus lateralis ossis femoris und Malleolus lateralis fibulae
Tarsus:	Malleolus lateralis fibulae
Pfote:	distal am Os metatarsale quintum



Abb. 22: Beispiel eines Labradors mit aufgeklebten Markern auf dem Laufband.

Es konnten gleichzeitig die Bewegungsanalyse, die Kraftmessung und die Aufnahme von digitalen Audio-Video-Aufnahmen stattfinden. Die Messung der Bodenreaktionskräfte erfolgte mit 1000 Hz und die Messung der Markersignale mit 100 Hz. Es wurden jedes Mal ca. 5–10 Sequenzen (Trials) von mindestens 20–30 Sekunden Länge im Schritt aufgenommen. Als Ausgangsgeschwindigkeit für einen zügigen Schritt wurde 1,1 m/s gewählt, wobei dies individuell an jedes Tier angepasst wurde (Größe, Lahmheit).

Nachdem die Aufnahmen fertig waren, wurden sie mit der gleichen Software (Vicon Nexus 1.7.1) nachbearbeitet. Die rekonstruierten, 3-dimensionalen Marker wurden für die weitere Auswertung benannt (gelabelt) und Artefakte (Ghostmarker) entfernt (Abb. 23).

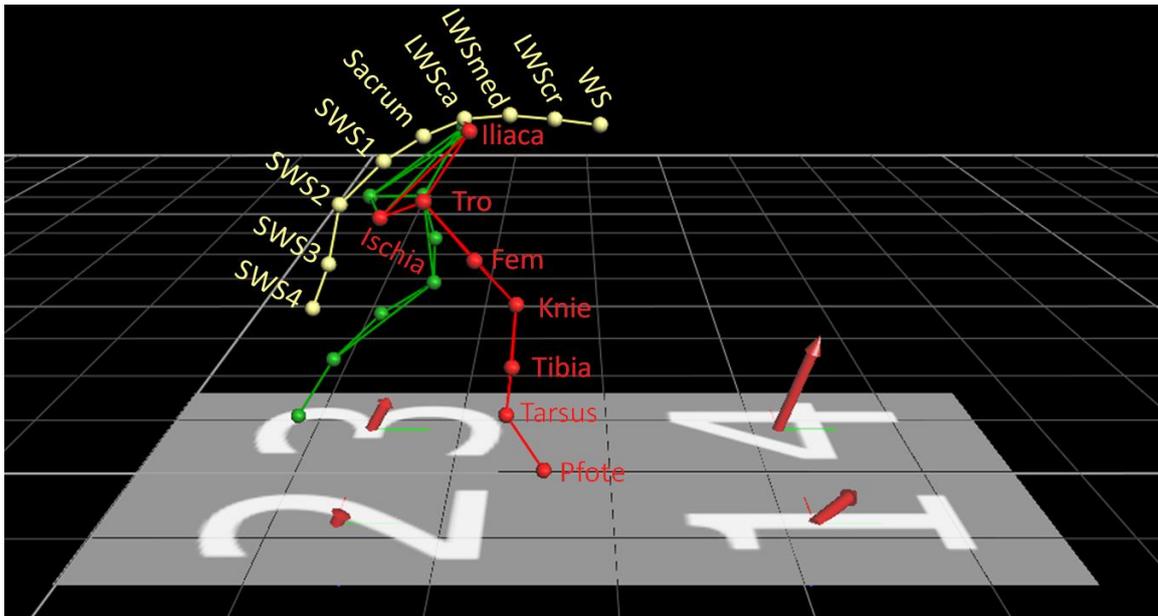


Abb. 23: Nachbearbeitete 3-dimensionale Darstellung der Marker nach dem Labeln.

Außerdem wurden mit einer speziell für dieses Laufband entwickelten Software (QuadruPedLocomotion) Schritte mit korrekter Fußung (1 Pfote auf jeder Kraftmessplatte) aus den aufgenommenen Schritten ausgewählt und die kinetischen und kinematischen Ergebnisse dieser Schritte einzeln und als Mittel aller Schritte einer Gliedmaße grafisch und numerisch ausgegeben und gespeichert. Als kinetische Parameter wurden PVF (% kg KGW), VI (% kg KGW x sek) und die Standphasendauer (%) von der betroffenen Hintergliedmaße ausgewertet. Als kinematische Parameter wurden die Gelenkwinkel (°) von Hüfte, Knie und Tarsus der betroffenen Hintergliedmaße und die ROM (°) von denselben Gelenken herangezogen. Bei Hunden, bei denen die 1. Seite vollständig untersucht war, bevor sie einen Kreuzbandriss auf der 2. Seite erlitten, wurden die Daten gemittelt. Bei Hunden, die bei Erstvorstellung bereits einen Kreuzbandriss beidseits hatten und die klinisch schlechtere Seite zuerst operiert wurde, wurde die 2. Seite für die Auswertung verwendet.

Verglichen wurden die ganganalytischen Ergebnisse der Patienten mit einer Kontrollgruppe, bestehend aus orthopädisch gesunden Hunden früherer Untersuchungen. Es wurde ein Referenzbereich aus den Daten der gesunden Hunde ermittelt, für den als untere Grenze der Mittelwert der Kontrollgruppe abzüglich der doppelten Standardabweichung benutzt wurde (BLAND 2000). Dann wurde ausgerechnet, wieviele Tiere und Prozent der Tiere innerhalb dieses

Referenzbereichs lagen, wobei der Referenzbereich als Gruppe 1 definiert wurde und alles unterhalb des Referenzbereichs als Gruppe 2. Außerdem wurde für die ganganalytischen Daten der Abschlusskontrolle eine Einteilung in lahm oder nicht lahm vorgenommen. Hier wurden bei allen Patienten mit einem im Rahmen der Studie beidseitig operierten Kreuzbandriss die Daten der 2. Seite für die Auswertung herangezogen. 4 Parameter wurden betrachtet: PVF, VI und jeweils die Symmetrie-Indizes. Für PVF und VI wurden die gleichen unteren Grenzwerte wie oben benutzt (Mittelwert der Kontrollgruppe abzüglich der doppelten Standardabweichung). Der Symmetrie-Index nach ROBINSON et al. (1987) berechnet sich für PVF folgendermaßen:

$$SI = \left| (200 \times (PVF_{re} - PVF_{li}) / (PVF_{re} + PVF_{li})) \right|$$

Für VI ist die Berechnung dieselbe. Als Grenzwert für den Symmetrie-Index von PVF wurde wie in anderen Studien der obere Grenzwert 9 und für den von VI der obere Grenzwert 10 benutzt (VOSS et al. 2007, LAYER 2012, SENCKENBERG 2016). Wenn ein Hund mit mindestens 1 der 4 Parameter ober- (Symmetrie-Indizes) bzw. unterhalb (PVF, VI) der Grenzwerte lag, wurde er ganganalytisch als lahm eingestuft. Zeigte ein Hund bei einem oder mehreren Parametern eine Lahmheit auf der betroffenen Seite und bei anderen eine Lahmheitsumkehr, wurde es als Lahmheit auf der betroffenen Seite eingestuft. Zeigte er nur Grenzwertüberschreitungen mit der anderen Seite, wurde es insgesamt als Lahmheitsumkehr eingestuft. Dieses Vorgehen wurde so gewählt, da bei bilateral erkrankten Tieren eine symmetrische Reduktion der Belastung der Hintergliedmaßen vorliegen kann, sodass der Symmetrie-Index eine Lahmheitsfreiheit angibt, die nicht vorliegt.

3.3. **Vorbereitung der Patienten vor dem operativen Eingriff**

Bei jedem Patienten wurde vor der Narkose ein Blutbild und ein kleines Serumprofil (Kreatinin, Harnstoff, Alaninaminotransferase = ALT, Alkalische Phosphatase = AP) angefertigt und das Gesamteiweiß bestimmt. Wenn es irgendwelche Auffälligkeiten gab, wurde zusätzlich ein Differentialblutbild und ein großes Serumprofil mit Elektrolyten (Gesamt-Bilirubin, Albumin, Glucose, Phosphat, Chlorid, Natrium, Kalium, Kalzium) angefertigt. Bei Hunden über 8 Jahren wurde außerdem der Thorax laterolateral linksanliegend geröntgt.

Die Hunde erhielten standardisiert als Prämedikation eine Neuroleptanalgesie, bestehend aus 0,02 mg/kg Acepromacin (Vettranquil ®, Fa. Ceva Tiergesundheit GmbH, 40472 Düsseldorf) i. m. und 0,15 mg/kg Levomethadon (L-Polamivet ®, Fa. Intervet Deutschland GmbH, 85716 Unterschleißheim) i. m.. Dies wurde jedoch individuell in Abhängigkeit von der ASA-Klasse angepasst. Zur Einleitung wurde Propofol (Narcofol ®, Fa. CP-Pharma Handelsgesellschaft mbH, 31303 Burgdorf) i. v. je nach Effekt mit einer Dosierung von 3–5 mg/kg eingesetzt. Außerdem erhielt jeder Hund mindestens 30 Minuten vor Hautschnitt 25 mg/kg Cefazolin (Cephazolin Fresenius 2 g ®, Fa. CP-Pharma Handelsgesellschaft mbH, 31303 Burgdorf) i. v.. Nachdem die Hunde intubiert waren, wurde die Allgemeinanästhesie mit 2 % Isofluran (Isoflo 100% ®, Fa. Ecuphar GmbH, 17489 Greifswald) im Sauerstoff/Gasgemisch aufrechterhalten.

Zur OP-Vorbereitung wurden die Hunde alle von der Hüfte bis zum Tarsalgelenk rundherum ausgeschoren und aseptisch mit einer jodhaltigen Waschlotion (Jodosept ®, Fa. Vétoquinol GmbH, A-1140 Wien) gewaschen und mit einem alkoholischen Hautdesinfektionsmittel (Septoderm ®, Fa. Dr. Schumacher GmbH, 34323 Malsfeld) für den Eingriff vorbereitet. Während der Narkose wurden die Hunde mit einer Vollelektrolytlösung (Elektrosetl ®, Fa. Selectavet, Dr. Otto Fischer GmbH, 83629 Weyarn-Holzolling) mit einer Rate von 10 ml/kg/h i. v. infundiert. Nach der Vorbereitung wurden die Patienten in Seitenlage mit dem zu operierenden Bein unten liegend aufgebaut, das andere Bein wurde abgewinkelt an einem Bügel fixiert. Die ungeschorene Pfote des zu operierenden Beins wurde bis zum Tarsalgelenk mit einer sterilen kohäsiven Fixierbinde umwickelt und durch das Schlitztuch gezogen, sodass das Bein während des Eingriffs gebeugt und gestreckt werden konnte.

3.4. TPLO

Die TPLO wurde in Anlehnung an die von SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993) beschriebene Technik durchgeführt. Die Messung des Tibiaplateauwinkels erfolgte mittels funktioneller Tibiaachse, einer dazu senkrechten Linie und der dem Tibiplateau entsprechenden Sekante, dann wurde das Röntgenbild mit einem Kalibrationstool („X-Ray Magnification Indicator“, Fa. Biomedtrix, USA-Boonton, New Jersey 07005) kalibriert (Abb. 24). Anschließend konnte auf der

Rotationstabelle nachgelesen werden, um wieviele Zentimeter das Tibiaplateau gedreht werden muss, um die gewünschten 5° des Tibiaplateaus zu erhalten (www.newgenerationdevices.com) (Abb. 25). Wie weit das Tibiaplateau gedreht werden musste, war abhängig vom verwendeten Sägeblatt und dem gemessenen Tibiaplateau.

Nach dem Zugang zur proximalen Tibia von medial wurde bei einer in der MRT diagnostizierten medialen Meniskusläsion zuerst über eine kaudomediale Miniarthrotomie eine partielle kaudale Menishektomie des medialen Meniskus durchgeführt, wenn sich die Diagnose bestätigte. Danach wurde das Gelenk wieder verschlossen. Die Tibia wurde frei präpariert und der Gelenkspalt mit einer Kanüle markiert. Die kraniale und die kaudale Tibiakante wurden zum Schutz der lateral gelegenen Strukturen vor der nun folgenden Osteotomie mit je einem feuchten Tupfer unterpolstert. Die Osteotomie wurde mittels biradiärer Säge (Fa. Aesculap AG, 78532 Tuttlingen) durchgeführt und das Sägeblatt entsprechend der Größe der Tibia gewählt. Anschließend wurde das Tibiaplateau mit einem von kaudodistal eingesetzten 2,5 mm Rotationspin (Fa. Medicon eG, Chirurgiemechaniker-Genossenschaft, 78532 Tuttlingen) gedreht. Mit einer Schieblehre (Fa. Aesculap AG, 78532 Tuttlingen) wurde überprüft, dass es sich um die vorher ermittelte Distanz handelte. Die Fixation erfolgte zunächst mittels Kirschner Bohrdraht (je nach Größe des Kniegelenks 1,2 oder 1,4 mm) (Fa. Aesculap AG, 78532 Tuttlingen) und anschließend wurde die speziell dafür vorgesehenen Platte angebracht. Alle Patienten erhielten gewichtsabhängig eine 3,5 mm oder eine breite 3,5 mm winkelstabile Platte (Fa. Synthes, 79224 Umkirch), die mit 3 bzw. bei der breiten Platte mit 4 Kortikalisschrauben (Fa. Synthes, 79224 Umkirch) und 3 bzw. 4 winkelstabilen Schrauben im Plattenkopf (Fa. Synthes, 79224 Umkirch) befestigt wurde. Der Rotations- und der Fixationspin wurden entfernt und abschließend erfolgte ein schichtweiser Wundverschluss. Ein Jig wurde nicht verwendet.

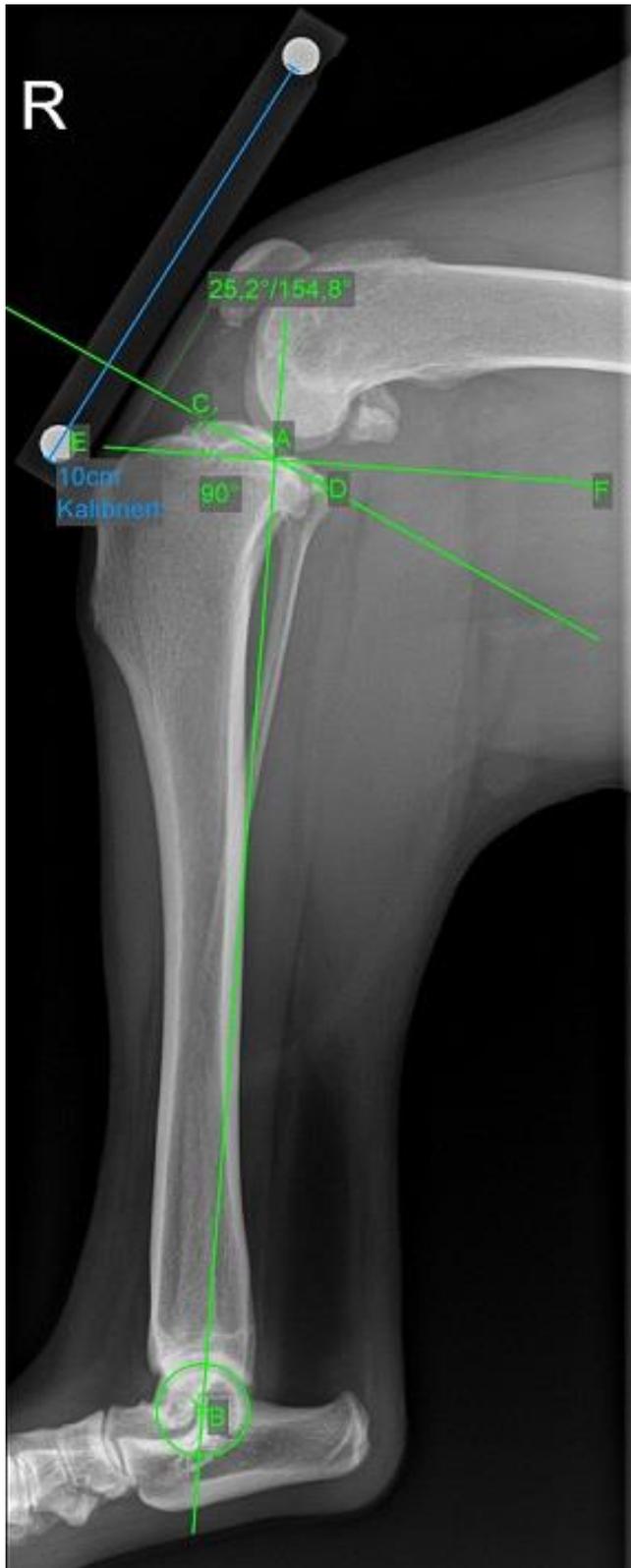


Abb. 24: Präoperative Messung des Tibiaplateauwinkels:

Linie AB: Tibiaachse:

Punkt A: Mittelpunkt der Eminentia intercondylaris tibiae

Punkt B: Mittelpunkt der Trochlea tali tibiae

Linie CD: Tibiaplateau:

Punkt C: kraniales Level der Area intercondylaris tibiae

Punkt D: kaudalster Punkt des Tibiaplateaus

Referenzlinie orthogonal zur Tibiaachse

Winkel zwischen Referenzlinie und Tibiaachse: Tibiaplateauwinkel, in diesem Fall $25,2^\circ$

Das Kalibrationsstool („X-Ray Magnification Indicator“, Fa. Biomedtrix, USA-Boonton, New Jersey 07005) wurde auf 10 cm kalibriert.

Rotation Calculations Intended to Leave 5° of Tibial Slope									
Tibial Angle	10mm	12mm	15mm	18mm	21mm	24mm	27mm	30mm	33mm
10	0.85	1.00	1.50	1.75	1.75	2.00	2.50	2.75	3.00
11	1.00	1.25	1.75	2.00	2.00	2.50	3.00	3.25	3.50
12	1.20	1.50	2.00	2.25	2.50	3.00	3.50	3.75	4.00
13	1.35	1.70	2.25	2.50	2.75	3.50	4.00	4.25	4.50
14	1.50	1.90	2.50	2.75	3.25	3.75	4.50	4.75	5.25
15	1.70	2.10	2.75	3.25	3.50	4.25	5.00	5.50	5.75
16	1.85	2.25	3.00	3.50	3.75	4.50	5.50	5.75	6.25
17	2.00	2.50	3.50	3.75	4.25	5.00	5.75	6.25	7.00
18	2.20	2.75	3.75	4.25	4.50	5.50	6.25	6.75	7.50
19	2.40	2.90	4.00	4.50	5.00	6.00	6.75	7.50	8.25
20	2.55	3.15	4.25	4.75	5.25	6.25	7.25	8.00	8.75
21	2.70	3.30	4.50	5.00	5.50	6.75	7.75	8.50	9.25
22	2.90	3.55	4.75	5.50	6.00	7.00	8.25	9.00	9.75
23	3.10	3.75	5.00	5.75	6.25	7.50	8.75	9.50	10.50
24	3.25	4.00	5.25	6.00	6.75	8.00	9.25	10.00	11.00
25	3.40	4.25	5.50	6.50	7.00	8.25	9.75	10.50	11.50
26	3.55	4.40	6.00	6.75	7.25	8.75	10.25	11.00	12.25
27	3.75	4.60	6.25	7.00	7.75	9.00	10.75	11.50	12.75
28	3.90	4.85	6.50	7.25	8.00	9.50	11.25	12.25	13.25
29	4.10	5.00	6.75	7.75	8.50	10.00	11.75	12.75	14.00
30	4.25	5.25	7.00	8.00	8.75	10.25	12.25	13.25	14.50
31	4.40	5.45	7.25	8.25	9.00	10.75	12.75	13.75	15.00
32	4.60	5.65	7.50	8.75	9.50	11.00	13.25	14.25	15.50
33	4.75	5.90	7.75	9.00	9.75	11.50	13.75	14.75	16.25
34	4.95	6.10	8.00	9.25	10.25	12.00	14.25	15.25	16.75
35	5.00	6.30	8.50	9.50	10.50	12.25	14.75	16.00	17.50
36	5.25	6.50	8.75	10.00	10.75	12.75	15.25	16.50	18.00
37	5.45	6.75	9.00	10.25	11.25	13.00	15.75	17.00	18.50
38	5.60	6.95	9.25	10.50	11.50	13.50	16.25	17.50	19.25
39	5.80	7.15	9.50	11.00	12.00	14.00	16.75	18.00	19.75
40	5.95	7.35	10.00	11.25	12.25	14.25	17.25	18.50	20.25
41	6.10	7.55	10.25	11.50	12.50	15.00	17.75	19.00	20.75
42	6.30	7.75	10.50	11.75	13.00	15.50	18.25	19.50	21.50
43	6.45	8.00	10.75	12.25	13.25	16.00	18.75	20.00	22.00
44	6.65	8.20	11.00	12.50	13.75	16.50	19.00	20.50	22.50
45	6.80	8.40	11.25	12.75	14.00	16.75	19.50	21.25	23.25

Abb. 25: Rotationstabelle, auf der nachgelesen konnte, um wieviel Zentimeter das Tibiaplateau, in Abhängigkeit vom gemessenen Tibiaplateau und dem verwendeten Sägeblatt, gedreht werden musste, um ein Tibiaplateau mit 5° zu erreichen (von www.newgenerationdevices.com).

3.5. MMP

Die MMP und die präoperative Messung zur Bestimmung der benötigten Keilgröße wurde wie von NESS (2011) im Orthomed Anwendungsleitfaden beschrieben durchgeführt. Die Messung ist in Abbildung 26 dargestellt und wurde in dieser Reihenfolge durchgeführt: Linie AB: Tibiaplateau; Punkt C: Mittelpunkt der Eminentia intercondylaris tibiae auf Linie AB; Punkt D: Zentrum des Talus; Linie CD: Tibiaachse; Linie CE: Winkel unter der Linie DCE beträgt 135° ; Punkt F: kranialster Teil der Tuberositas tibiae, an dem das Lig. patellae ansetzt; Linie FG: parallel zu Linie CE; Punkt H: Schnittpunkt von Linie FG und Linie AB; Linie FI: ausgehend von F rechtwinklig zu Linie AB mit Schnittpunkt J; Linie FL: ausgehend von F rechtwinklig zu Linie CD; Linie HM: Linie durch H parallel zu Linie IF mit Schnittpunkt M zur Linie FL. Abschließend wurde der Abstand FM gemessen und ergab die Keilgröße, die für einen Patellarsehnenwinkel von 90° benötigt wurde. Das Röntgenbild wurde wie bei der TPLO-Messung auch mittels Kalibrationstool („X-Ray Magnification Indicator“, Fa. Biomedtrix, USA-Boonton, New Jersey 07005) kalibriert.

Wichtig für die Durchführung der MMP war es, dass ein Beugen und Strecken der zu operierenden Hintergliedmaße während der OP möglich war (Abb. 27 A). Ein 8–10 cm langer Hautschnitt wurde medial durchgeführt, proximal von der Mitte des Lig. patellae ausgehend (Abb. 27 B). Wie bei der TPLO auch wurde beim Vorliegen einer kaudalen Meniskusläsion des medialen Meniskus zuerst eine partielle kaudale Meniskektomie über eine kaudomediale Miniarthrotomie durchgeführt und das Gelenk wieder verschlossen. Ein kurzer medialer, parapatellarer Gelenkkapselschnitt ca. 5 mm hinter dem Lig. patellae wurde durchgeführt, was die Platzierung des Pins für die Sägeblattführung (alle Instrumente von Fa. Orthomed Technology GmbH, 24568 Kaltenkirchen) vereinfachte. Der lange proximale Pin wurde in diese Öffnung eingebracht, der distale Pin lag kranial der Tibia an. Der Durchmesser des distalen Pins konnte zwischen 2 und 6 mm gewählt werden und bestimmte die Position der Osteotomie und somit die Dicke des Tuberositas-tibiae-Fragments. Die MMP-Sägeblattführung wurde mit einem kurzen 3,5 mm Bohrer fixiert, die Bohrmaschine entfernt (Abb. 27 C). Die Osteotomie wurde mit einem Sägeblatt von maximal 0,7 mm Stärke durchgeführt (Abb. 27 D). Anschließend wurde der 3,5 mm Bohrer und die Sägeführung entfernt und die knöcherne Brücke distal

mithilfe der oszillierenden Säge durchtrennt und die Osteotomie so vervollständigt. Der kleinste Probekeil wurde in die Osteotomie eingesetzt, mithilfe einer Zweipunktzange konnte am proximalen Ende der Osteotomie vorsichtig nach kranial gezogen werden (Abb. 27 E). Es wurden zunehmend größere Probekeile eingesetzt, bis die gewünschte Größe erreicht war. Der passende OrthoFoam™-Keil wurde mithilfe des Einsetzinstrumentes platziert (Abb. 27 F). Die Schmetterlingsbohrhilfe wurde auf das Einsetzinstrument aufgesteckt und mit einem 1,5 mm Bohrer ein Loch durch die Tuberositas tibiae gebohrt, wobei die Schmetterlingsbohrhilfe dafür sorgte, dass sich dieses Loch in einer Linie mit dem Loch im OrthoFoam™-Keil befand (Abb. 27 G). Ein 1,6 mm Kirschnerdraht wurde in der Schmetterlingsbohrhilfe bis zur kaudalen Tibiakortex vorgeschoben, die Bohrhilfe und das Einsetzinstrument entfernt. Zur zusätzlichen Fixierung wurde eine Zuggurtung mit einem 1,5 mm Bohrer und 2 Drahtcerclagen von 1,2 mm Stärke in einer Achtertour angelegt (Abb. 27 H). Abschließend wurde der Kirschner Draht zugeschnitten und der überstehende Draht mit dem MMP-Biegeinstrument medial im rechten Winkel gebogen und so gedreht, dass er dem kranio-medialen Teil der Tuberositas tibiae anlag. Ein schichtweiser Wundverschluss wurde durchgeführt.

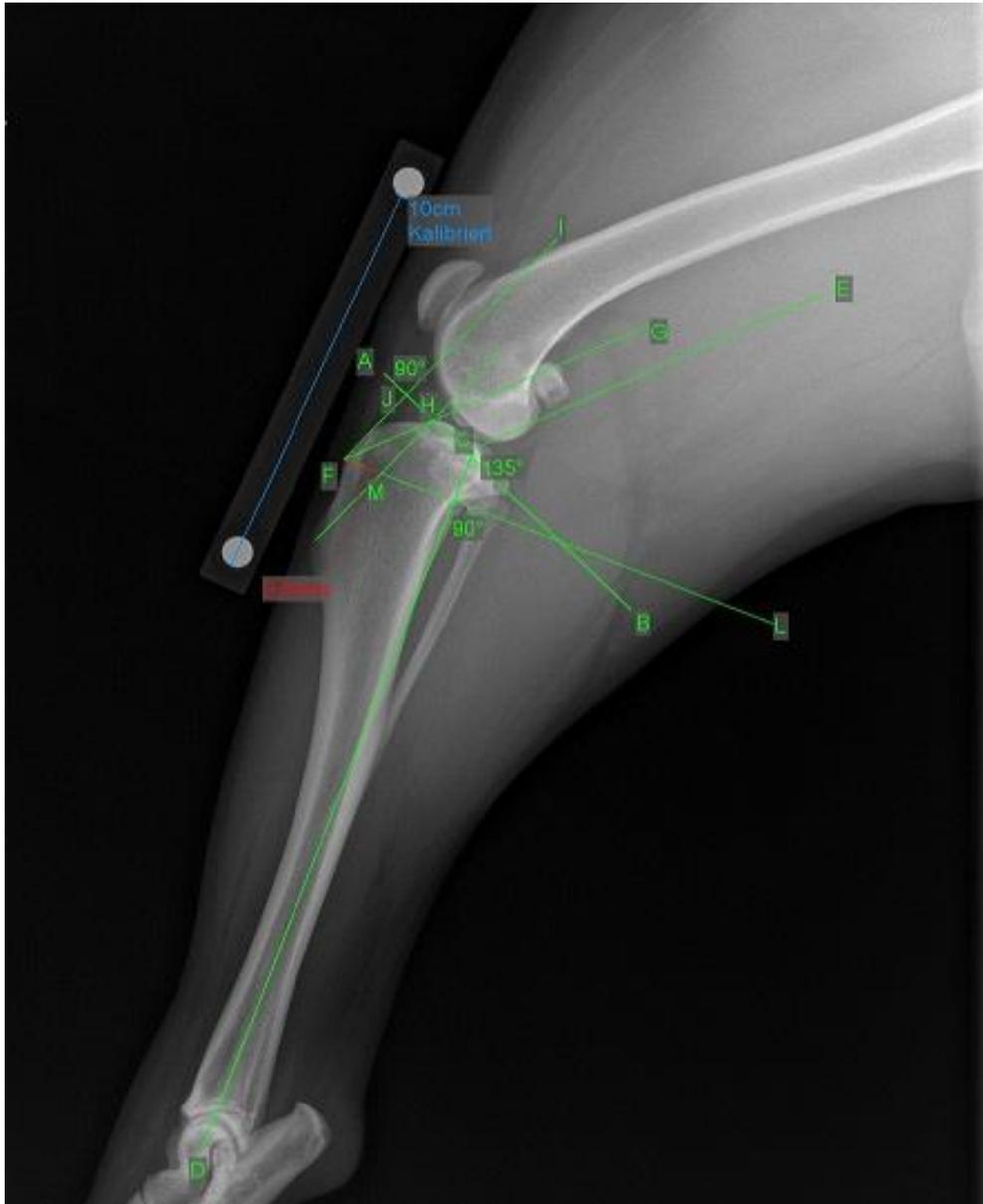
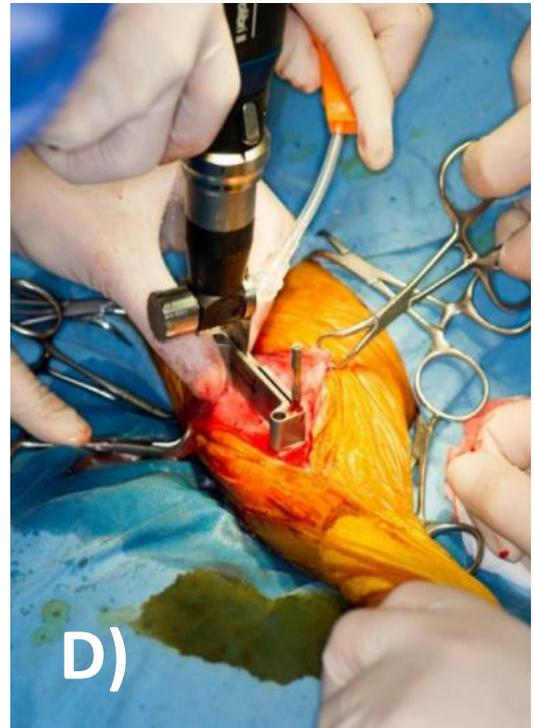
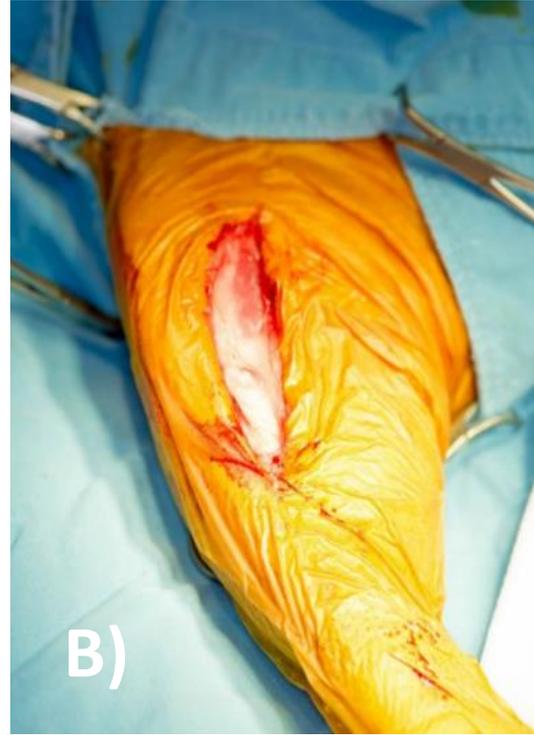


Abb. 26: Präoperative MMP-Messung, wie im Text erklärt. Die Strecke FM ergibt die errechnete Keilgröße, im hier vorliegenden Fall wurden 9,6 mm gemessen. Das Kalibrationstool („X-Ray Magnification Indicator“, Fa. Biomedtrix, USA-Boonton, New Jersey 07005) wurde auf 10 cm kalibriert.



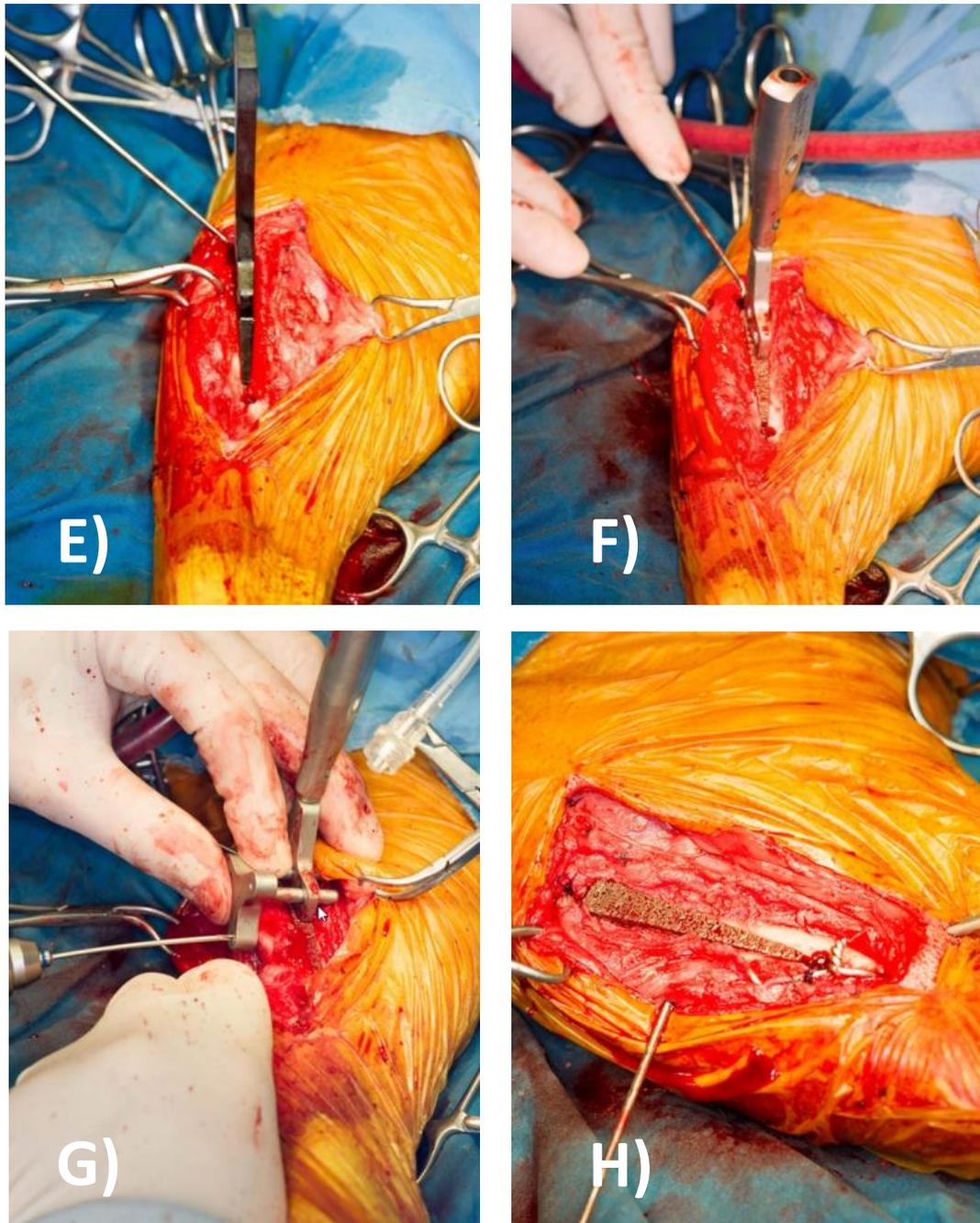


Abb. 27: Bildliche Darstellung der einzelnen Schritte bei der Durchführung der MMP wie im Text näher erklärt.

3.6. **Nachsorge der Patienten und Kontrolluntersuchungen**

Nach jeder Operation wurde die Wunde zur postoperativen Röntgenkontrolle mit einem Pflaster geschützt. Anschließend wurde den Patienten für 24 Stunden ein hoher Stützverband angelegt. Nach Abnahme des Stützverbandes wurde das operierte Kniegelenk vorsichtig alle 4–8 Stunden gekühlt. Alle Patienten erhielten zur Analgesie für die ersten 24–48 Stunden (je nach Schmerzhaftigkeit) alle 8 Stunden 15 µg/kg Buprenorphin (Buprenodale ®, Fa. Dechra Veterinary Products, GB-Lostock Gralam, Northwich CW9 7UA) i. v. und als Antibiose alle 12 Stunden 25 mg/kg Cefazolin (Cephazolin Fresenius 2 g ®, Fa. CP-Pharma Handelsgesellschaft mbH, 31303 Burgdorf) i. v.. Anschließend erhielten die Patienten alle 24 Stunden 4 mg/kg Carprofen (Rimadyl Kautabletten®, Fa. Zoetis Deutschland GmbH, 10785 Berlin) p. o. und alle 12 Stunden 25 mg/kg Cefalexin (Therios ®, Fa. Ceva Tiergesundheit GmbH, 40472 Düsseldorf) p. o. für weitere 7 Tage. 2 Tage nach der Operation, in Ausnahmefällen nach 3 Tagen, wurden die Patienten in die häusliche Pflege entlassen. Die erste klinische Kontrolle fand 10–12 Tage post operationem zum Fäden ziehen statt, allerdings wurde das Kniegelenk zu diesem Zeitpunkt kaum manipuliert, sondern nur die Wundheilung beurteilt. Zuhause sollten alle Patienten für mindestens 6 Wochen an der Leine streng ruhig gehalten werden, dann fand die erste Kontrolluntersuchung statt. Nach dieser wurde entschieden, ob der Patient noch ruhig gehalten werden sollte oder wie die aufbauende Belastung stattfinden sollte. Zu den Kontrolluntersuchungen 6 Wochen, 3 Monate und ≥ 6 Monate postoperativ erfolgten alle in Abschnitt 3.2. beschriebenen Untersuchungsverfahren.

3.7. **Komplikationen**

Alle Komplikationen wurden erfasst und in Major- und Minor-Komplikationen unterteilt. Major-Komplikationen wurden definiert als solche, die eine Reoperation benötigten, wobei Implantatentfernungen auf Wunsch der Besitzer wegen vermuteter Kälte- und Wärmeempfindlichkeit nicht hierzu zählten. Minor-Komplikationen waren radiologische Nebenfunde oder Wundheilungsstörungen, die konservativ behandelt wurden und eben genannte Implantatentfernungen.

3.8. **Statistik**

Bei den nominalen Patientendaten (Rasse, Geschlecht, Kastrationsstatus, partielle/vollständige Kreuzbandruptur, ein-/beidseitig im Rahmen der Studie operiert, Vorliegen einer Meniskusläsion) wurde die absolute und relative Häufigkeit pro OP-Methode angegeben. Bei den metrischen Patientendaten (Alter, Gewicht) wurden Mittelwert und Standardabweichung genannt.

Bei den ordinalen Daten der klinischen Untersuchung (Lahmheitsgrad, Belastungsgrad, Schmerzhaftigkeit, Gelenkerguss, Gelenkfibrose, Krepitation, Schubladen- und Tibiakompressionstest, Sitztest) und den metrischen Daten der klinischen Untersuchung (Muskelatrophie) wurden die absolute und relative Häufigkeit pro OP-Methode, Mittelwert und Standardabweichung angegeben. Danach wurde ein Gruppenvergleich der OP-Methoden für jeden Untersuchungszeitpunkt und für jeden der Untersuchungsparameter mit dem Fisher-Exakt-Test durchgeführt.

Die Major- und Minor-Komplikationen wurden als absolute und relative Häufigkeit in Bezug auf die Anzahl der Kniegelenke pro OP-Methode angegeben und die Effektgröße (Odds Ratio) berechnet. Außerdem wurden die Komplikationen als absolute und relative Häufigkeit in Bezug auf die Anzahl der Hunde angegeben, hier wurde jeder Hund nur einmal gerechnet, auch wenn er mehrere Komplikationen hatte. Dann wurde ein Gruppenvergleich der OP-Methoden mit dem Fisher-Exakt-Test durchgeführt.

Die metrischen Daten der ganganalytischen Untersuchung (Parameter PVF, VI, SD, ROM von Hüfte/Knie/Tarsalgelenk) wurden initial in 2 Gruppen unterteilt (Dichotomisierung) und die absolute und relative Häufigkeit der Hunde der TPLO- und MMP-Gruppe jeweils für Gruppe 1 (Referenzbereich) und Gruppe 2 (unterhalb des Referenzbereichs) berechnet. Ein Gruppenvergleich wurde für alle Parameter und alle Zeitpunkte mit dem Fisher-Exact-Test durchgeführt. Für die gleichen Parameter wurden jeweils zusätzlich der Mittelwert und die Standardabweichung angegeben. Für die Parameter PVF und VI wurden außerdem die Effektgrößen angegeben, einmal zwischen TPLO- und MMP-Gruppe und jeweils noch zwischen beiden Gruppen und der Kontrollgruppe. Die Effektgröße ergibt sich durch die absolute Differenz dividiert durch die Mittelwerte der Standardabweichungen beider Gruppen. Nach COHEN (1998) wird durch eine Effektgröße $> 0,2$ ein kleiner, $> 0,5$ ein mittlerer und $> 0,8$ ein

großer Effekt indiziert. Das 95 % Konfidenzintervall definiert, dass der Wert des berechneten Effekts bei unendlicher Wiederholung zu 95 % in dem berechneten Intervall liegt (BRANDSTÄTTER 1999). Befindet sich der Wert 0 innerhalb dieses Intervalls lässt sich nichts mit großer Sicherheit über das Vorzeichen des Effekts aussagen. Der Effekt kann positiv, negativ oder theoretisch und extrem unwahrscheinlich 0 betragen, oder ein Effekt sehr nahe 0. Danach wurde mittels T-Test für unabhängige Stichproben mit anschließendem Post-hoc-Test noch ein Mittelwertvergleich für ebendiese Parameter angeschlossen.

Nachdem die Hunde ganganalytisch als lahm oder nicht lahm eingestuft worden waren, wurde ein Gruppenvergleich der OP-Methoden mit dem Fisher-Exact-Test durchgeführt.

Bei den Daten der radiologischen Untersuchung wurde als Test auf Normalverteilung für die Arthroseprogression nach MAGER (2000) der Kolmogorov-Smirnov-Test und anschließend ein T-Test für unabhängige Stichproben herangezogen. Außerdem wurde ein Test auf Gleichheit durchgeführt, dieser stammte von der Firma Acomed Statistik (www.acomed-statistik.de) und ist ein Äquivalenztest für Mittelwerte. δ gibt dabei die Differenz an, die zum Nachweis einer Gleichheit nicht überschritten werden darf.

Für die Evaluation diagnostischer Verfahren wurden Sensitivität (Anzahl richtig positiver / (Anzahl richtig positiver + Anzahl falsch negativer)) und Spezifität (Anzahl richtig negativer / (Anzahl richtig negativer + Anzahl falsch positiver)) berechnet. Auf diese Weise wurde der Meniskusklick zur Diagnosestellung einer Meniskusläsion bewertet und die subjektive Lahmheitsbeurteilung zum Detektieren einer ganganalytisch bestätigten Lahmheit.

Für alle der oben genannten Testverfahren wurde ein Signifikanzniveau von 5 % ($p \leq 0,05$) festgelegt. Die Anzahl der Nachkommastellen wurde in Abhängigkeit von der Messgenauigkeit auf 1 bzw. 2 Nachkommastellen festgelegt. Werte unter 5 wurden immer abgerundet, Werte über 5 aufgerundet.

4. ERGEBNISSE

4.1. Patienten

Es wurden insgesamt 61 Patienten unterschiedlicher Rassen und Mischlinge in die Studie eingeschlossen, 30 Patienten waren in der TPLO-Gruppe und 31 Patienten in der MMP-Gruppe (Tab. 2). In der TPLO-Gruppe gab es 11 Patienten, die beidseitig operiert wurden und in der MMP-Gruppe gab es 4 solcher Patienten, sodass insgesamt 76 Kniegelenke im Rahmen der Studie operiert worden waren. Das durchschnittliche Gewicht der 30 Patienten der TPLO-Gruppe betrug bei Erstvorstellung $29,95 \pm 4,64$ kg, das der 31 Patienten der MMP-Gruppe $29,90 \pm 4,77$ kg. Das Alter bei Erstvorstellung betrug in der TPLO-Gruppe im Durchschnitt $5,89 \pm 2,51$ Jahre (2–12,3 Jahre), das in der MMP-Gruppe $6,72$ Jahre $\pm 2,98$ (0,9–11,3 Jahre). In der TPLO-Gruppe waren 10 männliche Hunde, 8 davon kastriert und 20 weibliche Hunde, davon waren 16 kastriert. In der MMP-Gruppe gab es 16 männliche Hunde, 11 davon kastriert und 15 weibliche Hunde, von denen 10 kastriert waren. 17 der 76 (22,4 %) operierten Kniegelenke zeigten einen partiellen Kreuzbandriss, 59 (77,6 %) einen vollständigen. 43 der 76 (56,6 %) Kniegelenke wiesen zum Zeitpunkt der operativen Versorgung eine Meniskusläsion auf, die in der MRT diagnostiziert wurde, und erhielten deshalb eine partielle kaudale Menispektomie über eine kaudomediale Miniarthrotomie. Bei 3 der 17 (17,6 %) partiellen Kreuzbandrisse lag eine Meniskusläsion vor und bei 40 der 59 (67,8 %) vollständigen.

Die 1. Kontrolle fand im Durchschnitt nach $6,23 \pm 0,79$ Wochen statt, die 2. Kontrolle nach $3,13 \pm 0,41$ Monaten und die Abschlusskontrolle nach $6,74 \pm 1,15$ Monaten. In der TPLO-Gruppe waren zu jedem Zeitpunkt alle 30 Hunde zur Kontrolle erschienen, in der MMP-Gruppe schieden nach der 3-Monats-Kontrolle 3 Hunde aus der Studie aus, sodass zur Abschlusskontrolle nur 28 Hunde erschienen waren. 2 dieser Hunde starben vor der Abschlusskontrolle und beim 3. nannten die Besitzer keine Gründe. 1 Hund der MMP-Gruppe lief nur präoperativ auf dem Laufband, zu den Kontrollzeitpunkten jedoch nicht mehr, sodass dieser Hund ganganalytisch nicht ausgewertet werden konnte. Bei den ganganalytischen kinetischen und kinematischen Auswertungen konnten nicht immer alle Hunde ausgewertet werden, die Anzahl ist den jeweiligen Tabellen zu entnehmen.

Tab. 2: Rassenverteilung der in die Studie eingeschlossenen Patienten der TPLO- und MMP-Gruppe, mit Angabe der im Rahmen der Studie beidseitig operierten Hunde.

Rasse	TPLO-Gruppe	MMP-Gruppe	Anzahl gesamt
Labrador Retriever (davon beidseitig operiert)	11 (4)	9 (2)	20 (6)
Labrador-Retriever-Mischling (davon beidseitig operiert)	1 (1)	1 (0)	2 (1)
Golden Retriever	3	3	6
Golden-Retriever-Mischling	0	1	1
Mischling (davon beidseitig operiert)	3 (0)	7 (1)	10 (1)
Deutscher Schäferhund (DSH) (davon beidseitig operiert)	2 (2)	0 (0)	2 (2)
DSH-Mischling	2	0	2
Belgischer Schäferhund	0	1	1
Boxer-Mischling (davon beidseitig operiert)	1 (1)	0 (0)	1 (1)
Skandinavischer Schlittenhund	1	0	1
Alaskan Malamute (davon beidseitig operiert)	1 (1)	0 (0)	1 (1)
Magyar Vizsla (davon beidseitig operiert)	1 (1)	1 (0)	2 (1)
Entlebucher Sennenhund	2	0	2
Deutsch Drahthaar	1	0	1
Tiroler Bracke	0	2	2
Bayerischer Gebirgsschweißhund	0	1	1
Slovensky kopov	0	1	1
Berner-Sennenhund-Mischling (davon beidseitig operiert)	0 (0)	1 (1)	1 (1)
Englische Bulldogge	0	1	1
Kangal-Mischling	0	1	1
Dobermann	1	1	2
Summe der Patienten	30	31	61

Als Kontrollgruppe wurden 16 orthopädisch gesunde Labrador Retriever ausgewählt (LAYER 2012, SENCKENBERG 2016), da der Großteil der Hunde in dieser Studie ebenfalls Labrador Retriever oder Golden Retriever oder deren Mischlinge waren und die meisten anderen Rassen einen ähnlichen Körperbau aufwiesen. Das Durchschnittsalter der Hunde der Kontrollgruppe war $4,12 \pm 1,49$ Jahre (1,7–6,7 Jahre) und das durchschnittliche Gewicht betrug $30,5 \pm 5,32$ kg.

4.2. Klinisch-orthopädische Untersuchung

Alle im folgenden Abschnitt genannten Angaben zur klinisch-orthopädischen Untersuchung beziehen sich auf die Tabelle 3, Tabelle 4, Tabelle 5 und Tabelle 6.

Der Lahmheitsgrad unterschied sich nur präoperativ signifikant zwischen den beiden Gruppen ($p = 0,012$). In beiden Gruppen lief präoperativ keiner der Hunde lahmheitsfrei. Kein Hund in der MMP-Gruppe zeigte nur eine undeutlich geringgradige Lahmheit, während in der TPLO-Gruppe 20,0 % der Hunde ($n = 6$) diese Lahmheit zeigten. In der MMP-Gruppe zeigten 13 Hunde eine deutlich geringgradige und 14 eine mittelgradige Lahmheit, in der TPLO-Gruppe 6 eine deutlich geringgradige Lahmheit und 10 Hunde eine mittelgradige Lahmheit. Es liefen mehr Hunde in der TPLO-Gruppe ($n = 8$) hochgradig lahm als in der MMP-Gruppe ($n = 4$). Der Mittelwert betrug in der TPLO-Gruppe $2,7 \pm 1,1$ Lahmheitsgrade und in der MMP-Gruppe $2,7 \pm 0,7$ Lahmheitsgrade. Zu den weiteren Kontrollzeitpunkten gab es keine signifikanten Unterschiede mehr zwischen den beiden Gruppen ($p > 0,05$). Beide Gruppen verbesserten sich von Zeitpunkt zu Zeitpunkt, so betrug der Mittelwert zur 6-Wochen-Kontrolle in der TPLO-Gruppe $1,3 \pm 0,8$ Lahmheitsgrade und in der MMP-Gruppe $1,5 \pm 0,9$ Lahmheitsgrade, zur 3-Monats-Kontrolle in der TPLO-Gruppe $0,6 \pm 0,7$ Lahmheitsgrade und in der MMP-Gruppe $0,7 \pm 1,0$ Lahmheitsgrade und zum Zeitpunkt der Abschlusskontrolle in der TPLO-Gruppe $0,2 \pm 0,6$ Lahmheitsgrade und in der MMP-Gruppe $0,3 \pm 0,7$ Lahmheitsgrade. Bei der Abschlusskontrolle liefen in beiden Gruppen mehr als 80,0 % der Hunde lahmheitsfrei, in der TPLO-Gruppe 26 Hunde und in der MMP-Gruppe 23 Hunde.

Beim Belastungsgrad, der mit dem Lahmheitsgrad korreliert, gab es ebenfalls nur zum präoperativen Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen den

beiden Gruppen ($p = 0,012$), hier belasteten die Hunde der MMP-Gruppe mit einem Mittelwert von $3,4 \pm 1,6$ BG tendenziell schlechter als die der TPLO-Gruppe mit $3,5 \pm 1,7$ BG. Bei der Langzeitkontrolle lag der Mittelwert in der TPLO-Gruppe bei $5,0 \pm 0,2$ BG und in der MMP-Gruppe bei $4,9 \pm 0,3$ BG, es zeigten 93,3 % der Hunde der TPLO ($n = 28$) und 92,9 % der Hunde der MMP-Gruppe ($n = 26$) eine normale Belastung ($p = 1,000$).

Die Schmerzhaftigkeit unterschied sich zu keinem Zeitpunkt signifikant zwischen den beiden Gruppen ($p > 0,05$). Während es präoperativ keinen Hund gab, der nicht schmerzhaft war und der Mittelwert in der TPLO-Gruppe bei $4,2 \pm 1,3$ Graden und in der MMP-Gruppe bei $4,4 \pm 0,9$ Graden lag, so waren bei der Abschlusskontrolle fast alle Hunde schmerzfrei (TPLO-Gruppe: $n = 28$; MMP-Gruppe: $n = 25$) mit einem Mittelwert von $0,1 \pm 0,4$ Graden (TPLO) und $0,2 \pm 0,6$ Graden (MMP).

Während präoperativ alle Hunde in beiden Gruppen eine Gelenkfüllung hatten, wurden es über die Kontrollzeitpunkte immer mehr Hunde, die keine Gelenkfüllung hatten. Bei der Abschlusskontrolle waren in der TPLO-Gruppe 43,3 % der Hunde ($n = 13$) und in der MMP-Gruppe 39,3 % der Hunde ($n = 11$) ohne Gelenkerguss. Es hatten also zur Zeit der Abschlusskontrolle ≥ 6 Monate mehr als 50 % aller Hunde noch eine vermehrte Gelenkfüllung. Zu keinem Zeitpunkt gab es einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p > 0,05$).

Beim Parameter Gelenkfibrose hatten wenige Hunde bereits präoperativ eine Gelenkfibrose, in der TPLO-Gruppe 33,3 % ($n = 10$) und in der MMP-Gruppe 19,4 % ($n = 6$) ($p = 0,255$). In der TPLO-Gruppe nahm die Anzahl der Hunde mit Fibrose stärker zu als in der MMP-Gruppe, bei der Abschlusskontrolle waren es hier 53,3 % der Hunde ($n = 16$). In der MMP-Gruppe stieg die Zahl weniger stark an, auf 25,0 % der Hunde ($n = 7$), dieser Unterschied war signifikant ($p = 0,026$).

In Bezug auf die Krepitation zeigte sich präoperativ ein signifikanter Unterschied zwischen den beiden Gruppen ($p = 0,001$). 87,1 % der Hunde der MMP-Gruppe ($n = 27$) hatten keine Krepitation, aber nur 46,7 % der Hunde der TPLO-Gruppe ($n = 14$). Bei allen anderen Kontrollzeitpunkten zeigte sich kein signifikanter Unterschied mehr. Der Mittelwert zur Abschlusskontrolle betrug in der TPLO-Gruppe $0,5 \pm 0,5$ Grade und in der MMP-Gruppe $0,6 \pm 0,6$ Grade.

Die Parameter Schubladen- und Tibiakompressionstest wiesen zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied auf ($p > 0,05$). Beim Großteil der Hunde in beiden Gruppen waren die Tests präoperativ mittel- oder hochgradig positiv, es gab in beiden Gruppen jeweils nur einen Hund, bei dem beide Tests negativ waren. Die Mittelwerte betragen präoperativ für den Schubladentest $2,6 \pm 1,2$ Grade und für den Tibiakompressionstest $2,3 \pm 1,0$ Grade in der TPLO-Gruppe und $2,7 \pm 0,9$ Grade und $2,4 \pm 0,8$ Grade in der MMP-Gruppe. 6 Wochen postoperativ war der Tibiakompressionstest in der TPLO-Gruppe bei 73,3 % ($n = 22$) und in der MMP-Gruppe bei 51,6 % ($n = 16$) negativ mit einem Mittelwert von $0,4 \pm 0,7$ Graden in der TPLO-Gruppe und $0,8 \pm 1,0$ Graden in der MMP-Gruppe. Die Anzahl der Hunde mit einem negativen Tibiakompressionstest nahm dann weiter zu bis bei der Abschlusskontrolle 93,3 % der Hunde in der TPLO-Gruppe ($n = 28$) und 82,1 % der Hunde in der MMP-Gruppe ($n = 23$) einen negativen Tibiakompressionstest zeigten. Der Schubladentest war zum Zeitpunkt der Abschlusskontrolle bei 40,0 % der Hunde der TPLO-Gruppe ($n = 12$) und bei 42,9 % der Hunde der MMP-Gruppe ($n = 12$) negativ.

Der Sitztest war präoperativ bei jeweils einem Hund pro Gruppe negativ, postoperativ zu allen Zeitpunkten bei allen Hunden positiv.

Tab. 3: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 31) zum präoperativen Zeitpunkt im Vergleich.

Klinische Untersuchung Untersuchungsparameter und Einteilung	TPLO-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	MMP-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	p-Wert
Lahmheitsgrad			
lahmheitsfrei	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0,012
undeutl. ggr.	6 (20,0 %)	0 (0,0 %)	
deutl. ggr.	6 (20,0 %)	13 (41,9 %)	
mittelgradig	10 (33,3 %)	14 (45,2 %)	
hochgradig	8 (26,7 %)	4 (12,9 %)	
Belastungsgrad (BG)			
0	3 (10,0 %)	5 (16,1 %)	0,012
1	2 (6,7 %)	0 (0,0 %)	
2	3 (10,0 %)	1 (3,2 %)	
3	3 (10,0 %)	2 (6,5 %)	
4	6 (20,0 %)	18 (58,1 %)	
5	13 (43,3 %)	5 (16,1 %)	
Schmerzhaftigkeit			
nicht schmerzhaft	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0,731
stoisch, keine Schmerzäußerung	3 (10,0 %)	1 (3,2 %)	
schmerzhaft bei Flexion	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
schmerzhaft bei Extension	3 (10,0 %)	3 (9,7 %)	
schmerzhaft bei Extension&Flexion	7 (23,3 %)	10 (32,3 %)	
schmerzhaft bei jeglicher Manipulation	17 (56,7 %)	17 (54,8 %)	
Gelenkerguss/Gelenkfüllung			
keine Gelenkfüllung	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0,874
geringgradiger Gelenkerguss	5 (16,7 %)	7 (22,6 %)	
mittelgradiger Gelenkerguss	19 (63,3 %)	19 (61,3 %)	
hochgradiger Gelenkerguss	6 (20,0 %)	5 (16,1 %)	
Fibrose			
keine Fibrose	20 (66,7 %)	25 (80,6 %)	0,255
Gelenkfibrose	10 (33,3 %)	6 (19,4 %)	
Krepitation			
keine Krepitation	14 (46,7 %)	27 (87,1 %)	0,001
geringgradige Krepitation	10 (33,3 %)	1 (3,2 %)	
mittelgradige Krepitation	4 (13,3 %)	3 (9,7 %)	
hochgradige Krepitation	2 (6,7 %)	0 (0,0 %)	
Schubladentest			
negativ/nicht auslösbar	1 (3,3 %)	1 (3,2 %)	0,198
fraglich positiv	7 (23,3 %)	2 (6,5 %)	
geringgradig positiv	4 (13,3 %)	7 (22,6 %)	
mittelgradig positiv	10 (33,3 %)	16 (51,6 %)	
hochgradig positiv	8 (26,7 %)	5 (16,1 %)	
Tibiakompressionstest			
negativ	1 (3,3 %)	1 (3,2 %)	0,317
fraglich positiv	5 (16,7 %)	1 (3,2 %)	
geringgradig positiv	10 (33,3 %)	14 (45,2 %)	
mittelgradig positiv	11 (36,7 %)	14 (45,2 %)	
hochgradig positiv	3 (10,0 %)	1 (3,2 %)	
Sitztest			
negativ	1 (3,3 %)	1 (3,2 %)	1,000
positiv	29 (96,7 %)	30 (96,8 %)	

Tab. 4: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 31) 6 Wochen postoperativ im Vergleich.

Klinische Untersuchung Untersuchungsparameter und Einteilung	TPLO-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	MMP-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	p-Wert
Lahmheitsgrad			
lahmheitsfrei	4 (13,3 %)	4 (12,9 %)	0,517
undeutl. ggr.	16 (53,3 %)	11 (35,5 %)	
deutl. ggr.	8 (26,7 %)	12 (38,7 %)	
mittelgradig	2 (6,7 %)	4 (12,9 %)	
hochgradig	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Belastungsgrad			
0	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0,902
1	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
2	0 (0,0 %)	1 (3,2 %)	
3	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
4	7 (23,3 %)	6 (19,4 %)	
5	23 (76,7 %)	24 (77,4 %)	
Schmerzhaftigkeit			
nicht schmerzhaft	14 (46,7 %)	15 (48,4 %)	0,505
stoisch, keine Schmerzäußerung	1 (3,3 %)	2 (6,5 %)	
schmerzhaft bei Flexion	5 (16,7 %)	1 (3,2 %)	
schmerzhaft bei Extension	6 (20,0 %)	5 (16,1 %)	
schmerzhaft bei Extension&Flexion	2 (6,7 %)	5 (16,1 %)	
schmerzhaft bei jeglicher Manipulation	2 (6,7 %)	3 (9,7 %)	
Gelenkerguss/Gelenkfüllung			
keine Gelenkfüllung	0 (0,0 %)	2 (6,5 %)	0,697
geringgradiger Gelenkerguss	18 (60,0 %)	17 (54,8 %)	
mittelgradiger Gelenkerguss	11 (36,7 %)	10 (32,3 %)	
hochgradiger Gelenkerguss	1 (3,3 %)	2 (6,5 %)	
Fibrose			
keine Fibrose	19 (63,3 %)	26 (83,9 %)	0,086
Gelenkfibrose	11 (36,7 %)	5 (16,1 %)	
Krepitation			
keine Krepitation	16 (53,3 %)	21 (67,7 %)	0,445
geringgradige Krepitation	12 (40 %)	8 (25,8 %)	
mittelgradige Krepitation	1 (3,3 %)	2 (6,5 %)	
hochgradige Krepitation	1 (3,3 %)	0 (0,0 %)	
Schubladentest			
negativ/nicht auslösbar	5 (16,7 %)	10 (32,3 %)	0,104
fraglich positiv	3 (10,0 %)	0 (0,0 %)	
geringgradig positiv	16 (53,3 %)	19 (61,3 %)	
mittelgradig positiv	5 (16,7 %)	2 (6,5 %)	
hochgradig positiv	1 (3,3 %)	0 (0,0 %)	
Tibiakompressionstest			
negativ	22 (73,3 %)	16 (51,6 %)	0,248
fraglich positiv	4 (13,3 %)	5 (16,1 %)	
geringgradig positiv	4 (13,3 %)	9 (29 %)	
mittelgradig positiv	0 (0,0 %)	1 (3,2 %)	
hochgradig positiv	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Sitztest			
negativ	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	1,000
positiv	30 (100,0 %)	31 (100,0 %)	

Tab. 5: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 31) 3 Monate postoperativ im Vergleich.

Klinische Untersuchung Untersuchungsparameter und Einteilung	TPLO-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	MMP-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	p-Wert
Lahmheitsgrad			
lahmheitsfrei	16 (53,3 %)	18 (58,1 %)	0,321
undeutl. ggr.	11 (36,7 %)	6 (19,4 %)	
deutl. ggr.	3 (10,0 %)	6 (19,4 %)	
mittelgradig	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
hochgradig	0 (0,0 %)	1 (3,2 %)	
Belastungsgrad			
0	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	0,481
1	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
2	0 (0,0 %)	1 (3,2 %)	
3	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
4	1 (3,3 %)	3 (9,7 %)	
5	29 (96,7 %)	27 (87,1 %)	
Schmerzhaftigkeit			
nicht schmerzhaft	22 (73,3 %)	24 (77,4 %)	0,833
stoisch, keine Schmerzäußerung	1 (3,3 %)	1 (3,2 %)	
schmerzhaft bei Flexion	3 (10,0 %)	1 (3,2 %)	
schmerzhaft bei Extension	4 (13,3 %)	4 (12,9 %)	
schmerzhaft bei Extension&Flexion	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
schmerzhaft bei jeglicher Manipulation	0 (0,0 %)	1 (3,2 %)	
Gelenkerguss/Gelenkfüllung			
keine Gelenkfüllung	1 (3,3 %)	3 (9,7 %)	0,230
geringgradiger Gelenkerguss	26 (86,7 %)	21 (67,7 %)	
mittelgradiger Gelenkerguss	3 (10,0 %)	7 (22,6 %)	
hochgradiger Gelenkerguss	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Fibrose			
keine Fibrose	17 (56,7 %)	25 (80,6 %)	0,056
Gelenkfibrose	13 (43,3 %)	6 (19,4 %)	
Krepitation			
keine Krepitation	17 (56,7 %)	19 (61,3 %)	0,794
geringgradige Krepitation	11 (36,7 %)	9 (29 %)	
mittelgradige Krepitation	2 (6,7 %)	3 (9,7)	
hochgradige Krepitation	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Schubladentest			
negativ/nicht auslösbar	8 (26,7 %)	7 (22,6 %)	0,978
fraglich positiv	5 (16,7 %)	5 (16,1 %)	
geringgradig positiv	14 (46,7 %)	16 (51,6 %)	
mittelgradig positiv	3 (10,0 %)	3 (9,7 %)	
hochgradig positiv	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Tibiakompressionstest			
negativ	25 (83,3 %)	19 (61,3 %)	0,179
fraglich positiv	1 (3,3 %)	2 (6,5 %)	
geringgradig positiv	4 (13,3 %)	10 (32,3 %)	
mittelgradig positiv	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
hochgradig positiv	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Sitztest			
negativ	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	1,000
positiv	30 (100,0 %)	31 (100,0 %)	

Tab. 6: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 28) bei der Abschlusskontrolle ≥ 6 Monate postoperativ im Vergleich.

Klinische Untersuchung Untersuchungsparameter und Einteilung	TPLO-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	MMP-Gruppe Anzahl der Hunde (%)	p-Wert
Lahmheitsgrad			
lahmheitsfrei	26 (86,7 %)	23 (82,1 %)	0,870
undeutl. ggr.	2 (6,7 %)	2 (7,1 %)	
deutl. ggr.	2 (6,7 %)	3 (10,8 %)	
mittelgradig	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
hochgradig	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Belastungsgrad			
0	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	1,000
1	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
2	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
3	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
4	2 (6,7 %)	2 (7,1 %)	
5	28 (93,3 %)	26 (92,9 %)	
Schmerzhaftigkeit			
nicht schmerzhaft	28 (93,3 %)	25 (89,3 %)	0,104
stoisch, keine Schmerzäußerung	1 (3,3 %)	1 (3,6 %)	
schmerzhaft bei Flexion	1 (3,3 %)	0 (0,0 %)	
schmerzhaft bei Extension	0 (0,0 %)	2 (7,1 %)	
schmerzhaft bei Extension&Flexion	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
schmerzhaft bei jeglicher Manipulation	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Gelenkerguss/Gelenkfüllung			
keine Gelenkfüllung	13 (43,3 %)	11 (39,3 %)	0,578
geringgradiger Gelenkerguss	17 (56,7 %)	15 (53,6 %)	
mittelgradiger Gelenkerguss	0 (0,0 %)	2 (7,1 %)	
hochgradiger Gelenkerguss	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Fibrose			
keine Fibrose	14 (46,7 %)	21 (75,0 %)	0,026
Gelenkfibrose	16 (53,3 %)	7 (25,0 %)	
Krepitation			
keine Krepitation	16 (53,3 %)	13 (46,4 %)	0,693
geringgradige Krepitation	14 (46,7 %)	14 (50 %)	
mittelgradige Krepitation	0 (0,0 %)	1 (3,6 %)	
hochgradige Krepitation	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Schubladentest			
negativ/nicht auslösbar	12 (40,0 %)	12 (42,9 %)	0,740
fraglich positiv	5 (16,7 %)	3 (10,7 %)	
geringgradig positiv	11 (36,7 %)	9 (32,1 %)	
mittelgradig positiv	2 (6,7 %)	4 (14,3 %)	
hochgradig positiv	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Tibiakompressionstest			
negativ	28 (93,3 %)	23 (82,1 %)	0,336
fraglich positiv	1 (3,3 %)	1 (3,6 %)	
geringgradig positiv	1 (3,3 %)	4 (14,3 %)	
mittelgradig positiv	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
hochgradig positiv	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	
Sitztest			
negativ	0 (0,0 %)	0 (0,0 %)	1,000
positiv	30 (100,0 %)	28 (100,0 %)	

4.2.1. Muskelatrophie

Im Durchschnitt hatten die Hunde der TPLO-Gruppe präoperativ eine Muskelatrophie von $2,1 \pm 1,6$ cm auf der betroffenen Seite und die der MMP-Gruppe von $2,0 \pm 1,6$ cm. 2 von 22 (9,1 %) ausgewerteten Hunden der TPLO-Gruppe und 4 der 28 (14,3 %) ausgewerteten Hunde der MMP-Gruppe hatten beidseits einen gleichen Oberschenkelmuskelumfang, also keine Muskelatrophie, der Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,683$).

6 Wochen postoperativ gab es im Durchschnitt eine Zunahme der Muskelatrophie, die Hunde der TPLO-Gruppe hatten durchschnittlich eine Muskelatrophie von $2,9 \pm 1,7$ cm, die der MMP-Gruppe von $2,6 \pm 1,5$ cm. 24 der 25 (96,0 %) ausgewerteten Hunde der TPLO-Gruppe hatten eine Muskelatrophie und alle der 29 (100 %) ausgewerteten Hunde der MMP-Gruppe hatten eine Muskelatrophie, dieser Unterschied war ebenfalls nicht signifikant ($p = 0,463$).

Bei der 3-Monats-Kontrolle war in der TPLO-Gruppe im Durchschnitt die Muskelatrophie mit $1,8 \pm 1,4$ cm im Vergleich zu den präoperativen Werten bereits weniger geworden, in der MMP-Gruppe mit $2,3 \pm 1,1$ cm immer noch etwas mehr als präoperativ. 4 der 25 (16,0 %) Hunde der TPLO-Gruppe hatten keine Muskelatrophie mehr, während es in der MMP-Gruppe keinen Hund (0,0 %) ohne Muskelatrophie gab, dieser Unterschied war signifikant ($p = 0,040$).

Bei der Abschlusskontrolle ≥ 6 Monate postoperativ gab es in beiden Gruppen einige Hunde, die keine Muskelatrophie mehr hatten. 13 von den 25 (52,0 %) Hunden der TPLO-Gruppe zeigten einen gleichen Oberschenkelmuskelumfang beidseits, in der MMP-Gruppe konnten zu diesem Zeitpunkt ebenfalls 25 Hunde kontrolliert werden, von diesen hatten 8 (32,0 %) keine Muskelatrophie mehr, dies war jedoch kein signifikanter Unterschied ($p = 0,252$) zwischen den beiden Gruppen. Im Durchschnitt hatten die Hunde der TPLO-Gruppe eine Muskelatrophie von $0,6 \pm 0,8$ cm und die der MMP-Gruppe von $1,2 \pm 1,2$ cm.

4.2.2. Meniskusklick

Ein positiver Meniskusklick bedeutete immer auch das Vorliegen einer Meniskusläsion, anders herum konnte nicht davon ausgegangen werden, dass keine Meniskusläsion vorlag, wenn kein Meniskusklick auslösbar war (Tab. 7).

Tab. 7: Übersicht über das Vorliegen von Meniskusklick und Meniskusläsionen bei den 76 Kniegelenken.

	Primäre Meniskusläsion	Ohne Meniskusläsion
Positiver Meniskusklick	19	0
Kein Meniskusklick	24	33

Sensitivität (Richtig-positiv-Rate):

$$P(\text{positiv erkannt/tatsächlich positiv}) = 19 / (19 + 24) = 0,44$$

Spezifität (Richtig-negativ-Rate):

$$P(\text{negativ erkannt/tatsächlich negativ}) = 33 / (33 + 0) = 1,00$$

Die Sensitivität des Meniskusklicks als diagnostisches Mittel für das Detektieren von Meniskusläsionen lag in dieser Studie bei 44 % und die Spezifität bei 100 %.

4.3. Komplikationen

Bei beiden OP-Methoden war eine sekundäre Meniskusläsion die häufigste Major-Komplikation (Tab. 8). 7,3 % der Hunde der TPLO-Gruppe (n = 3) und 5,7 % der Hunde der MMP-Gruppe (n = 2) erhielten aufgrund dieser Komplikation eine partielle Meniskektomie in einer 2. Operation, dieser Unterschied war nicht signifikant (p = 1,000). 1 Hund der MMP-Gruppe erlitt eine traumatische Tibiafraktur distal des Keils (Abb. 28). 1 anderer Hund der MMP-Gruppe (2,9 %) zeigte einen Ausriss des Keils, weshalb der Keil mit einer weiteren Drahtcerclage in einer Reoperation erneut fixiert werden musste, dieser Hund war allerdings nicht konsequent ruhig gehalten worden (Abb. 29). Der gleiche Hund zeigte nach der Abschlusskontrolle reaktive Veränderungen und Serome um die Pins, weshalb er beidseits eine Teilimplantatentfernung der Pins und der Drahtcerclagen erhielt. Es gab nur 1 Wundheilungsstörung, die einer Wundrevision bedurfte, diese trat bei einer MMP auf. In der MMP-Gruppe gab es insgesamt 20,0 % Major-Komplikationen, in der TPLO-Gruppe nur 7,3 %. Die Odds Ratio betrug 3,17. Die Chance in der MMP-Gruppe eine Major-Komplikation zu bekommen war also 3,17-mal so hoch wie in der TPLO-Gruppe. Dieser Unterschied war nicht signifikant (p = 0,105).



Abb. 28: Röntgenaufnahmen des gleichen Hundes, die eine traumatische Tibiafraktur als Major-Komplikation der MMP zeigen. Links oben das Röntgenbild post MMP. Rechts oben das Röntgenbild 6 Wochen post MMP mit Tibiafraktur. Links unten das Röntgenbild post Versorgung der Fraktur mit Plattenosteosynthese. Rechts unten das Röntgenbild 5 Monate post Plattenosteosynthese.



Abb. 29: Röntgenaufnahmen des gleichen Hundes, die einen Implantatausriss als Major-Komplikation einer MMP zeigen. Links das Röntgenbild post MMP. In der Mitte das Röntgenbild 6 Wochen post MMP mit Implantatausriss. Rechts das Röntgenbild nach Reoperation, das die Fixierung mit einer weiteren Drahtcerclage zeigt.

Als Minor-Komplikationen traten in beiden Gruppen am häufigsten Wundheilungsstörungen auf, die in allen Fällen konservativ behandelt werden konnten (Tab. 8). Diese waren sehr häufig nicht direkt operationsbedingt, sondern die Tiere hatten sich nach Besitzerangaben an ihrer Wunde geschleckt. In der TPLO-Gruppe gab es außerdem 7 Kniegelenke (17,1 %), die eine Fibulafraktur hatten, dies zeigte sich meist bei der 6-Wochen-Kontrolle, häufig als radiologischer Nebenbefund ohne klinische Relevanz (Abb. 30). Einige zeigten jedoch eine geringgradige Lahmheit und Schmerzhaftigkeit bei Palpation der Fibula. In der MMP-Gruppe gab es 2-mal (5,7 %) einen Bruch der Drahtcerclage, dieser hatte jedoch keine klinische Relevanz oder Konsequenz, da zum Zeitpunkt des Auftretens der Keil schon fest eingebaut war, es war ein reiner radiologischer Nebenbefund. Eine Implantatentfernung wegen einer laut Besitzern bestehenden Kälte-/Wärmeempfindlichkeit gab es 3-mal in der TPLO-Gruppe (7,3 %). Insgesamt gab es 43,9 % Minor-Komplikationen in der TPLO-Gruppe und 17,1 % in der MMP-Gruppe. Die Odds Ratio betrug 3,78. Hier war die Chance in der TPLO-Gruppe also 3,78-mal so hoch wie in der MMP-Gruppe eine Minor-Komplikation zu erleiden. Dieser Unterschied war signifikant ($p = 0,013$).



Abb. 30: Röntgenaufnahmen des gleichen Hundes, die eine Fibulafaktur als Minor-Komplikation der TPLO zeigen. Links das Röntgenbild post TPLO. In der Mitte das Röntgenbild 6 Wochen post TPLO, es fällt eine Fibulafaktur auf, die bereits konsolidiert ist mit überschießender Kallusbildung. Rechts das Röntgenbild bei der Abschlusskontrolle ≥ 6 Monate postoperativ.

Tab. 8: Alle aufgetretenen Major- und Minor-Komplikationen in Bezug auf die Anzahl der Kniegelenke im Überblick.

Alle aufgetretenen Komplikationen	TPLO	MMP	Gesamt
Anzahl der operierten Kniegelenke insgesamt	41	35	76
Major (Reoperation)			
Sekundärer Meniskusschaden	3 (7,3 %)	2 (5,7 %)	5 (6,6 %)
Implantatentfernung wegen reaktiven Veränderungen und Serom	-	2 (5,7 %)	2 (2,6 %)
Implantatausriss/-bruch	-	1 (2,9 %)	1 (1,3 %)
Traumatische Tibiafraktur	-	1 (2,9 %)	1 (1,3 %)
Wundheilungsstörung mit Wundrevision	-	1 (2,9 %)	1 (1,3 %)
Major gesamt	3 (7,3 %)	7 (20,0 %)	10 (13,2 %)
Minor			
Implantatentfernung wegen Kälte-/Wärmeempfindlichkeit	3 (7,3 %)	-	3 (3,9 %)
Wundheilungsstörung: Ursache bekannt (an Wunde geschleckt/ohne Halskragen)	5 (12,2 %)	2 (5,7 %)	7 (9,2 %)
Wundheilungsstörung: Ursache unbekannt, möglicherweise operationsbedingt	3 (7,3 %)	2 (5,7 %)	5 (6,6 %)
Fibulafaktur	7 (17,1 %)	-	7 (9,2 %)
Drahtcerclage gebrochen (radiologischer Nebenbefund)	-	2 (5,7%)	2 (2,6 %)
Minor gesamt	18 (43,9 %)	6 (17,1 %)	24 (31,6 %)
Komplikationen gesamt	21 (51,2 %)	13 (37,1 %)	34 (44,7 %)

In Tabelle 8 waren alle Komplikationen aufgelistet, auch wenn mehrere Komplikationen das gleiche Knie oder den gleichen Hund betrafen. In Tabelle 9 ist die Anzahl der Hunde angegeben, die eine Komplikation erlitten haben. Man kann sehen, dass viele Hunde mehrere Komplikationen hatten, denn die relative

Anzahl der Hunde mit Komplikationen ist deutlich niedriger als die der einzelnen Komplikationen. Insgesamt gab es bei 12 der 30 Hunde (40,0 %) der TPLO-Gruppe Komplikationen und bei 8 der 31 (25,8 %) Hunde der MMP-Gruppe. Auch dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,283$).

Tab. 9: Anzahl der Hunde mit Komplikationen (Major- und Minor-Komplikationen und Gesamt).

Anzahl der Hunde mit Komplikationen	TPLO	MMP	Gesamt
Anzahl der Hunde insgesamt	30	31	61
Anzahl der Hunde mit Major-Komplikationen	3 (10,0 %)	4 (13,3 %)	10 (16,4 %)
Anzahl der Hunde mit Minor-Komplikationen	11 (36,7 %)	6 (19,4 %)	17 (27,9 %)
Anzahl der Hunde mit Komplikation(en)	12 (40,0 %)	8 (25,8 %)	20 (32,8 %)

4.4. Radiologische Untersuchung

Präoperativ, sowie 6 Wochen und 3 Monate postoperativ existierten von allen Hunden Röntgenaufnahmen (in der TPLO-Gruppe $n = 30$ und in der MMP-Gruppe $n = 31$). Zur Abschlusskontrolle lagen nicht von allen Hunden Röntgenbilder vor bzw. manche erschienen wie bereits genannt nicht zur Abschlusskontrolle. In der TPLO-Gruppe gab es zu diesem Zeitpunkt von 29 Hunden eine Röntgenkontrolle und in der MMP-Gruppe von 28 Hunden.

Präoperativ lag der Mittelwert des Arthroscores in der TPLO-Gruppe bei $1,89 \pm 0,46$, nach 6 Wochen bei $2,10 \pm 0,48$, nach 3 Monaten bei $2,26 \pm 0,46$ und bei der Abschlusskontrolle bei $2,44 \pm 0,48$. In der MMP-Gruppe lag der Mittelwert präoperativ bei $1,82 \pm 0,45$, 6 Wochen postoperativ bei $2,01 \pm 0,48$, 3 Monate postoperativ bei $2,18 \pm 0,47$ und zur Zeit der Abschlusskontrolle betrug er $2,42 \pm 0,54$.

Präoperativ hatten also beide Gruppen ein sehr ähnliches Arthrorestadium, das durchschnittlich bei Kategorie 2 lag. Die Hunde der TPLO-Gruppe zeigten beim Vergleich der präoperativen Werte mit denen der Abschlusskontrolle im Durchschnitt eine Arthrosetprogression um $0,55 \pm 0,21$ Arthrosetgrade und die Hunde der MMP-Gruppe zeigten eine Progression um $0,60 \pm 0,33$ Arthrosetgrade. Somit zeigten postoperativ alle Hunde durchschnittlich ein Arthrorestadium, das zwischen Kategorie 2 und 3 lag.

Der T-Test für unabhängige Stichproben ergab für die Arthrosetprogression nach 6 Wochen ($p = 0,681$), 3 Monaten ($p = 0,893$) und ≥ 6 Monaten ($p = 0,557$) keine signifikanten Unterschiede zwischen der TPLO- und der MMP-Gruppe. Für die

Arthroseprogression von den präoperativen Werten zur Abschlusskontrolle wurde ein Test auf Gleichheit durchgeführt und dieser ergab mit $\delta = 0,2$ eine Äquivalenz für die beiden Gruppen.

4.5. Ganganalyse

4.5.1. Kinetik

4.5.1.1. Kontrollgruppe

Wie bereits beschrieben wurde aus den Daten der gesunden Kontrollgruppe der Referenzbereich berechnet, im Folgenden als Gruppe 1 bezeichnet (Tab. 10).

Tab. 10: Gesunde Hunde – Kontrollgruppe – Kinetische Parameter.

	PVF in % kg KGW	VI in % kg KGW x sek	SD in %
N	16	16	16
Mittelwert (M)	43,77	13,40	68,66
Standardabweichung (SD)	3,69	2,21	4,30
Minimum	36,35	7,30	57,75
Maximum	50,8	16,75	75,50
Untere Grenze Referenzbereich ($M - 2 \times SD$)	36,38	8,98	60,05

4.5.1.2. Peak Vertical Force (PVF)

In der MMP-Gruppe befanden sich präoperativ etwas mehr Hunde außerhalb des Referenzbereichs (83,3 %) ($n = 25$) als in der TPLO-Gruppe (70,0 %) ($n = 21$), dieser Unterschied war jedoch nicht signifikant ($p = 0,360$) (Tab. 11). Der einzige signifikante Unterschied bestand zur 3-Monats-Kontrolle, hier befanden sich 72,4 % der Hunde der TPLO-Gruppe ($n = 21$) innerhalb des Referenzbereichs, aber nur 43,3 % der Hunde der MMP-Gruppe ($n = 13$) ($p = 0,035$). Bei der Abschlusskontrolle waren 86,7 % der Hunde der TPLO-Gruppe ($n = 26$) und 63,0 % der Hunde der MMP-Gruppe ($n = 17$) innerhalb des Referenzbereichs, dieser Unterschied war nicht signifikant ($p = 0,063$). Vergleich man die Anzahl der Hunde, die präoperativ im Referenzbereich lagen, mit der Anzahl der Hunde, die postoperativ im Referenzbereich lagen, so ergab sich für die TPLO- und die MMP-Gruppe eine hoch signifikante Verbesserung ($p = 1,000$).

Tab. 11: Ergebnisse des kinetischen Parameters PVF von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	9	21	30	0,360
		% innerhalb der OP-Methode	30,0 %	70,0 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	64,3 %	45,7 %	50,0 %	
	% gesamt	15,0 %	35,0 %	50,0 %		
	MMP	Anzahl	5	25	30	
		% innerhalb der OP-Methode	16,7 %	83,3 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		35,7 %	54,3 %	50,0 %		
% gesamt	8,3 %	41,7 %	50,0 %			
Total	Anzahl	14	46	60		
	% innerhalb der OP-Methode	23,3 %	76,7 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	23,3 %	76,7 %	100,0 %		
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	13	15	28	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	46,4 %	53,6 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	50,0 %	48,4 %	49,1 %	
	% gesamt	22,8 %	26,3 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	13	16	29	
		% innerhalb der OP-Methode	44,8 %	55,2 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		50,0 %	51,6 %	50,9 %		
% gesamt	22,8 %	28,1 %	50,9 %			
Total	Anzahl	26	31	57		
	% within OP-Methode	45,6 %	54,4 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	45,6 %	54,4 %	100,0 %		
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	21	8	29	0,035
		% innerhalb der OP-Methode	72,4 %	27,6 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	61,8 %	32,0 %	49,2 %	
	% gesamt	35,6 %	13,6 %	49,2 %		
	MMP	Anzahl	13	17	30	
		% innerhalb der OP-Methode	43,3 %	56,7 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		38,2 %	68,0 %	50,8 %		
% gesamt	22,0 %	28,8 %	50,8 %			
Total	Anzahl	34	25	59		
	% innerhalb der OP-Methode	57,6 %	42,4 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	57,6 %	42,4 %	100,0 %		
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	26	4	30	0,063
		% innerhalb der OP-Methode	86,7 %	13,3 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	60,5 %	28,6 %	52,6 %	
	% gesamt	45,6 %	7,0 %	52,6 %		
	MMP	Anzahl	17	10	27	
		% innerhalb der OP-Methode	63,0 %	37,0 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		39,5 %	71,4 %	47,4 %		
% gesamt	29,8 %	17,5 %	47,4 %			
Total	Anzahl	43	14	57		
	% innerhalb der OP-Methode	75,4 %	24,6 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	75,4 %	24,6 %	100,0 %		

Mittelwert und Standardabweichung wurden zu jedem Zeitpunkt für alle Hunde einer OP-Methode berechnet und einmal gesondert für Gruppe 1 (innerhalb des Referenzbereichs) und Gruppe 2 (außerhalb des Referenzbereichs) (Tab. 12). Die Hunde beider OP-Methoden starteten präoperativ mit einem sehr ähnlichen Mittelwert, die Hunde der TPLO-Gruppe mit $28,57 \pm 9,47$ % kg KGW und die der MMP-Gruppe mit $28,75 \pm 8,44$ % kg KGW. In beiden Gruppen verbesserten sich die Hunde von Kontrolle zu Kontrolle. Interessant war, dass zur 3-Monats-Kontrolle zwar signifikant ($p = 0,035$) mehr Hunde der TPLO-Gruppe innerhalb des Referenzbereichs lagen (72,4 %), diese aber einen niedrigeren Mittelwert ($40,32 \pm 2,84$) hatten als die 43,3 % der Hunde der MMP-Gruppe, die innerhalb des Referenzbereichs lagen ($42,13 \pm 4,26$ % kg KGW). Die Hunde, die nicht innerhalb des Referenzbereichs lagen, zeigten bei beiden OP-Methoden fast den gleichen Mittelwert mit $33,11 \pm 2,38$ % kg KGW in der TPLO-Gruppe und $33,05 \pm 2,70$ % kg KGW in der MMP-Gruppe. Auch bei der Abschlusskontrolle hatten die Hunde der MMP-Gruppe innerhalb des Referenzbereichs mit $42,35 \pm 3,33$ % kg KGW einen etwas höheren Mittelwert als die Hunde der TPLO-Gruppe innerhalb des Referenzbereichs mit $41,84 \pm 5,25$ % kg KGW, aber es waren weniger Tiere. Außerdem konnte man sehen, dass selbst bei den Hunden im Referenzbereich der Mittelwert noch unterhalb dem der gesunden Hunde lag ($43,77 \pm 3,69$ % kg KGW). Der Mittelwert aller Hunde der TPLO-Gruppe bei der Abschlusskontrolle war mit $41,08 \pm 5,50$ % kg KGW größer als der aller Hunde der MMP-Gruppe mit $39,11 \pm 5,26$ % kg KGW.

Tab. 12: Mittelwerte des kinetischen Parameters PVF der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	9	21	30
	TPLO Mittelwert	37,64	24,68	28,57
	Standardabweichung	3,34	8,53	9,47
	Anzahl	5	25	30
	MMP Mittelwert	38,67	26,77	28,75
	Standardabweichung	2,31	7,79	8,44
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	13	15	28
	TPLO Mittelwert	40,73	31,14	35,59
	Standardabweichung	3,84	4,90	6,53
	Anzahl	13	16	29
	MMP Mittelwert	39,61	30,94	34,83
	Standardabweichung	2,55	5,09	5,99
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	21	8	29
	TPLO Mittelwert	40,32	33,11	38,33
	Standardabweichung	2,84	2,38	4,23
	Anzahl	13	17	30
	MMP Mittelwert	42,13	33,05	36,99
	Standardabweichung	4,26	2,70	5,70
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	26	4	30
	TPLO Mittelwert	41,84	34,75	41,08
	Standardabweichung	5,25	1,51	5,50
	Anzahl	17	10	27
	MMP Mittelwert	42,35	33,59	39,11
	Standardabweichung	3,33	2,52	5,26

4.5.1.3. Vertical Impulse (VI)

Bei diesem Laufbandparameter gab es zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen beiden OP-Methoden (Tab. 13). Bei der Abschlusskontrolle war die Anzahl der Tiere aus beiden OP-Methoden nahezu gleich, die innerhalb und außerhalb des Referenzbereichs lagen, in der TPLO waren 86,7 % der Hunde (n = 26) innerhalb des Referenzbereichs und in der MMP-Gruppe 88,9 % der Hunde (n = 24) (p = 1,000). Bei VI gab es, wie bei PVF auch, für beide OP-Methoden eine hoch signifikante Verbesserung beim Vergleich der Anzahl der Hunde, die präoperativ im Referenzbereich lagen, mit denen bei der Abschlusskontrolle (p = 1,000).

Tab. 13: Ergebnisse des kinetischen Parameters VI von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	14	16	30	0,288
		% innerhalb der OP-Methode	46,7 %	53,3 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	60,9 %	43,2 %	50,0 %	
	% gesamt	23,3 %	26,7 %	50,0 %		
	MMP	Anzahl	9	21	30	
		% innerhalb der OP-Methode	30,0 %	70,0 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		39,1 %	56,8 %	50,0 %		
Total	% gesamt	15,0 %	35,0 %	50,0 %		
	Anzahl	23	37	60		
	% innerhalb der OP-Methode	38,3 %	61,7 %	100,0 %		
% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %			
% gesamt	38,3 %	61,7 %	100,0 %			
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	19	9	28	0,585
		% innerhalb der OP-Methode	67,9 %	32,1 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	52,8 %	42,9 %	49,1 %	
	% gesamt	33,3 %	15,8 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	17	12	29	
		% innerhalb der OP-Methode	58,6 %	41,4 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		47,2 %	57,1 %	50,9 %		
Total	% gesamt	29,8 %	21,1 %	50,9 %		
	Anzahl	36	21	57		
	% within OP-Methode	63,2 %	36,8 %	100,0 %		
% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %			
% gesamt	63,2 %	36,8 %	100,0 %			
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	25	4	29	0,209
		% innerhalb der OP-Methode	86,2 %	13,8 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	54,3 %	30,8 %	49,2 %	
	% gesamt	42,4 %	6,8 %	49,2 %		
	MMP	Anzahl	21	9	30	
		% innerhalb der OP-Methode	70,0 %	30,0 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		45,7 %	69,2 %	50,8 %		
Total	% gesamt	35,6 %	15,3 %	50,8 %		
	Anzahl	46	13	59		
	% innerhalb der OP-Methode	78,0 %	22,0 %	100,0 %		
% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %			
% gesamt	78,0 %	22,0 %	100,0 %			
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	26	4	30	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	86,7 %	13,3 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	52,0 %	57,1 %	52,6 %	
	% gesamt	45,6 %	7,0 %	52,6 %		
	MMP	Anzahl	24	3	27	
		% innerhalb der OP-Methode	88,9 %	11,1 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		48,0 %	42,9 %	47,4 %		
Total	% gesamt	42,1 %	5,3 %	47,4 %		
	Anzahl	50	7	57		
	% innerhalb der OP-Methode	87,7 %	12,3 %	100,0 %		
% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %			
% gesamt	87,7 %	12,3 %	100,0 %			

Der Mittelwert beider Gruppen lag präoperativ sehr ähnlich, in der TPLO-Gruppe bei $8,04 \pm 3,29$ % kg KGW x sek und in der MMP-Gruppe bei $7,55 \pm 2,65$ % kg KGW x sek (Tab. 14). Die Mittelwerte lagen zu allen Zeitpunkten sehr eng beieinander, bei der Abschlusskontrolle hatten bei den Hunden innerhalb des Referenzbereichs die Hunde der TPLO-Gruppe mit $11,96 \pm 1,84$ % kg KGW x sek einen etwas höheren Mittelwert als die der MMP-Gruppe mit $10,94 \pm 1,64$ % kg KGW x sek. Insgesamt hatten auch die Hunde der TPLO-Gruppe bei der Abschlusskontrolle mit $11,51 \pm 2,08$ % kg KGW x sek einen höheren Mittelwert als die der MMP-Gruppe mit $10,68 \pm 1,84$ % kg KGW x sek. Und wie auch bei PVF erreichten selbst die Hunde, die innerhalb der Referenzgruppe lagen, nicht im Mittel nicht den Wert von gesunden Hunden ($13,4 \pm 2,21$ % kg KGW x sek).

Tab. 14: Mittelwerte des kinetischen Parameters VI der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	14	16	30
	TPLO Mittelwert	10,77	5,65	8,04
	Standardabweichung	1,55	2,40	3,29
	Anzahl	9	21	30
	MMP Mittelwert	10,25	6,39	7,55
	Standardabweichung	0,91	2,28	2,65
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	19	9	28
	TPLO Mittelwert	11,48	7,15	10,09
	Standardabweichung	1,88	1,49	2,69
	Anzahl	17	12	29
	MMP Mittelwert	10,66	7,36	9,29
	Standardabweichung	1,12	1,02	1,97
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	25	4	29
	TPLO Mittelwert	11,36	8,67	10,99
	Standardabweichung	1,57	0,27	1,73
	Anzahl	21	9	30
	MMP Mittelwert	10,94	8,08	10,08
	Standardabweichung	1,63	0,63	1,93
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	26	4	30
	TPLO Mittelwert	11,96	8,55	11,51
	Standardabweichung	1,84	0,20	2,08
	Anzahl	24	3	27
	MMP Mittelwert	10,94	7,47	10,68
	Standardabweichung	1,64	1,04	1,84

4.5.1.4. Standphasendauer (SD)

Die Standphasendauer unterschied sich zu keinem Zeitpunkt signifikant zwischen den beiden OP-Methoden. Es waren immer nur sehr wenige Tiere, die nicht innerhalb des Referenzbereichs lagen, selbst präoperativ waren es in der TPLO-Gruppe nur 3 Tiere (10,0 %) außerhalb des Referenzbereichs und in der MMP-Gruppe 5 (16,7 %) ($p = 0,706$). Auch bei der 6-Wochen-Kontrolle lagen nur 5 Tiere der TPLO-Gruppe (17,9 %) und 6 Tiere der MMP-Gruppe (20,7 %) außerhalb des Referenzbereichs ($p = 1,000$). Bei der Abschlusskontrolle lag nur noch 1 Hund der TPLO-Gruppe (3,3 %) und 2 Hunde der MMP-Gruppe (7,4 %) nicht innerhalb des Referenzbereichs ($p = 0,599$) (Tab. 15).

Tab. 15: Ergebnisse des kinetischen Parameters SD von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	27	3	30	0,706
		% innerhalb der OP-Methode	90,0 %	10,0 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	51,9 %	37,5 %	50,0 %	
	% gesamt	45,0 %	5,0 %	50,0 %		
	MMP	Anzahl	25	5	30	
		% innerhalb der OP-Methode	83,3 %	16,7 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		48,1 %	62,5 %	50,0 %		
Total	% gesamt	41,7 %	8,3 %	50,0 %		
	Anzahl	52	8	60		
	% innerhalb der OP-Methode	86,7 %	13,3 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	86,7 %	13,3 %	100,0 %		
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	23	5	28	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	82,1 %	17,9 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	50,0 %	45,5 %	49,1 %	
	% gesamt	40,4 %	8,8 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	23	6	29	
		% innerhalb der OP-Methode	79,3 %	20,7 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		50,0 %	54,5 %	50,9 %		
Total	% gesamt	40,4 %	10,5 %	50,9 %		
	Anzahl	46	11	57		
	% within OP-Methode	80,7 %	19,3 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	80,7 %	19,3 %	100,0 %		
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	29	0	29	0,237
		% innerhalb der OP-Methode	100,0 %	0,0 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	51,8 %	0,0 %	49,2 %	
	% gesamt	49,2 %	0,0 %	49,2 %		
	MMP	Anzahl	27	3	30	
		% innerhalb der OP-Methode	90,0 %	10,0 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		48,2 %	100,0 %	50,8 %		
Total	% gesamt	45,8 %	5,1 %	50,8 %		
	Anzahl	56	3	59		
	% innerhalb der OP-Methode	94,9 %	5,1 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	94,9 %	5,1 %	100,0 %		
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	29	1	30	0,599
		% innerhalb der OP-Methode	96,7 %	3,3 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	53,7 %	33,3 %	52,6 %	
	% gesamt	50,9 %	1,8 %	52,6 %		
	MMP	Anzahl	25	2	27	
		% innerhalb der OP-Methode	92,6 %	7,4 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		46,3 %	66,7 %	47,4 %		
Total	% gesamt	43,9 %	3,5 %	47,4 %		
	Anzahl	54	3	57		
	% innerhalb der OP-Methode	94,7 %	5,3 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	94,7 %	5,3 %	100,0 %		

Die Mittelwerte unterschieden sich zu allen Zeitpunkten kaum zwischen den beiden Gruppen. Aber auch hier erreichten bei der Abschlusskontrolle selbst die Hunde innerhalb des Referenzbereichs der TPLO-Gruppe mit $66,29 \pm 3,98$ % und der MMP-Gruppe mit $66,20 \pm 2,55$ % nicht den Mittelwert der gesunden Hunde mit $68,66 \pm 4,30$ %.

Tab. 16: Mittelwerte des kinetischen Parameters SD der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	27	3	30
	TPLO Mittelwert	64,84	37,75	62,13
	Standardabweichung	3,76	32,84	12,46
	Anzahl	25	5	30
	MMP Mittelwert	64,61	51,50	62,43
	Standardabweichung	2,92	15,17	7,97
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	23	5	28
	TPLO Mittelwert	65,77	58,60	64,49
	Standardabweichung	3,45	1,40	4,22
	Anzahl	23	6	29
	MMP Mittelwert	65,13	58,50	63,76
	Standardabweichung	2,90	0,88	3,77
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	29	0	29
	TPLO Mittelwert	65,83	-	65,83
	Standardabweichung	3,20	-	3,20
	Anzahl	27	3	30
	MMP Mittelwert	66,07	57,25	65,19
	Standardabweichung	2,80	2,61	3,84
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	29	1	30
	TPLO Mittelwert	66,29	57,50	65,99
	Standardabweichung	3,98	-	4,23
	Anzahl	25	2	27
	MMP Mittelwert	66,20	59,50	65,70
	Standardabweichung	2,55	0,00	3,03

4.5.1.5. Effektgrößen und Mittelwertvergleich für PVF und VI

Beim Vergleich der Effektgrößen gab es zwischen TPLO- und MMP-Gruppe zu keinem Zeitpunkt einen großen Effekt ($d < 0,8$) (Tab. 17). Zur 3-Monats- und Abschlusskontrolle gab es bei PVF einen kleinen Effekt ($d > 0,2$) zwischen TPLO- und MMP-Gruppe, hier hatte die TPLO-Gruppe einen etwas höheren Mittelwert als die MMP-Gruppe. Bei VI gab es zur 6-Wochen- und

Abschlusskontrolle ebenfalls einen kleinen ($d > 0,2$) und zur 3-Monats-Kontrolle einen mittleren Effekt ($d > 0,5$) zwischen TPLO- und MMP-Gruppe, wobei die TPLO-Gruppe wieder etwas höhere Mittelwerte aufwies. Da sich allerdings zu allen Zeitpunkten der Wert 0 im 95 % Konfidenzintervall befindet, deutet es auf einen eher geringen Effekt hin. Zwischen der Kontrollgruppe und der TPLO- bzw. MMP-Gruppe bestand bei beiden Parametern zu allen Zeitpunkten ein großer Effekt ($d > 0,8$), außer zwischen TPLO- und Kontrollgruppe bei PVF zur Abschlusskontrolle, hier bestand nur ein mittlerer Effekt ($d > 0,5$), aber der Wert 0 befindet sich auch hier im 95 % Konfidenzintervall.

Tab. 17:. Aufstellung der Effektgrößen und des 95 % Konfidenzintervalls der Parameter PVF und VI von TPLO-Gruppe und MMP-Gruppe im Vergleich, sowie Vergleich von TPLO-Gruppe bzw. MMP-Gruppe mit der Kontrollgruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Gruppenvergleiche	Effektgröße	Konfidenzintervall		
		upper	lower	
Vergleich TPLO mit MMP				
PVF	prä OP	0,02	-0,49	0,53
	6 Wochen	0,12	-0,40	0,64
	3 Monate	0,27	-0,25	0,78
	≥ 6 Monate	0,37	-0,16	0,89
VI	prä OP	0,16	-0,35	0,67
	6 Wochen	0,34	-0,19	0,86
	3 Monate	0,50	-0,03	1,01
	≥ 6 Monate	0,42	-0,11	0,94
Vergleich TPLO mit Kontrollgruppe				
PVF	prä OP	1,90	1,15	2,59
	6 Wochen	1,44	0,73	2,09
	3 Monate	1,34	0,65	1,99
	≥ 6 Monate	0,54	-0,08	1,15
VI	prä OP	1,81	1,07	2,49
	6 Wochen	1,31	0,62	1,96
	3 Monate	1,26	0,57	1,90
	≥ 6 Monate	0,89	0,24	1,51
Vergleich MMP mit Kontrollgruppe				
PVF	prä OP	2,09	1,32	2,79
	6 Wochen	1,69	0,96	2,36
	3 Monate	1,33	0,64	1,97
	≥ 6 Monate	0,98	0,31	1,62
VI	prä OP	2,33	1,52	3,06
	6 Wochen	2,00	1,23	2,70
	3 Monate	1,64	0,92	2,30
	≥ 6 Monate	1,37	0,66	2,03

Im Mittelwertvergleich sahen die Ergebnisse ähnlich aus. Zwischen den Mittelwerten von PVF und VI gab es zu keinem Kontrollzeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen der TPLO- und der MMP-Gruppe ($p > 0,05$). Beim Vergleich der Mittelwerte von PVF und VI von TPLO- bzw. MMP-Gruppe mit der Kontrollgruppe gab es zu allen Zeitpunkten von beiden Parametern einen signifikanten Unterschied ($p < 0,05$), außer zwischen TPLO- und Kontrollgruppe bei PVF zum Zeitpunkt der Abschlusskontrolle. Dieser Unterschied war mit $p = 0,087$ nicht signifikant.

In der TPLO-Gruppe erreichten die Hunde im Durchschnitt bei PVF 93,9 % des Mittelwertes der gesunden Kontrollgruppe und die der MMP-Gruppe 89,4 %. Bei VI erreichten die Hunde der TPLO-Gruppe durchschnittlich 85,9 % und die MMP-Gruppe 79,7 % des Mittelwertes der gesunden Kontrollgruppe. Insgesamt wurden in der TPLO-Gruppe im Durchschnitt 89,9 % und in der MMP-Gruppe 84,5 % der Mittelwerte der beiden Parameter von gesunden Hunden erreicht.

4.5.1.6. Lahmheitsbeurteilung bei der Abschlusskontrolle

Mittels Ganganalyse wurden in der TPLO-Gruppe 46,7 % der Hunde ($n = 14$) als lahmheitsfrei eingestuft, in der MMP-Gruppe waren es nur 33,3 % ($n = 9$) (Tab. 18). In beiden Gruppen gab es nur je einen Hund, der eine Lahmheitsumkehr zeigte. Somit zeigten in der TPLO-Gruppe noch 50,0 % der Hunde ($n = 15$) und in der MMP-Gruppe 63,0 % der Hunde ($n = 17$) eine Lahmheit auf der betroffenen Seite. Der Unterschied zwischen MMP- und TPLO-Gruppe, wie viele Tiere zum Zeitpunkt der Abschlusskontrolle noch auf der betroffenen Seite lahm bzw. nicht mehr lahm waren, war nicht signifikant ($p = 0,413$).

In der klinischen Untersuchung wurden deutlich weniger Tiere als lahm eingestuft, insgesamt in beiden Gruppen nur 14,0 % ($n = 8$) (Tab. 18).

Tab. 18: Lahmheitsbeurteilung bei der Abschlusskontrolle mittels objektiver computergestützter Ganganalyse und subjektiver klinischer Untersuchung.

Ganganalyse	ohne Lahmheit	Lahmheit	Lahmheitsumkehr	Total
TPLO				
Anzahl Hunde	14	15	1	30
% der Hunde	46,7 %	50,0 %	3,3 %	100,0 %
MMP				
Anzahl Hunde	9	17	1	27
% der Hunde	33,3 %	63,0 %	3,7 %	100,0 %
Total				
Anzahl Hunde	23	32	2	57
% der Hunde	40,4 %	56,1 %	3,5 %	100,0 %
Klinische Untersuchung	ohne Lahmheit	Lahmheit		Total
Total				
Anzahl Hunde	49	8		57
% der Hunde	86,0 %	14,0 %		100,0 %

Für die Berechnung der Sensitivität und Spezifität der klinischen Untersuchung wurden die beiden Tiere, bei denen bei der ganganalytischen Untersuchung eine Lahmheitsumkehr diagnostiziert wurde, zu den Tieren mit Lahmheit gerechnet (Tab. 19).

Tab. 19: Übersicht über lahme und lahmeisfreie Tiere, die mittels klinischer Untersuchung ermittelt wurden im Vergleich zu den bei der Ganganalyse als lahm eingestuftten Hunden.

	ohne Lahmheit	Lahmheit
Klinische US: ohne Lahmheit	22	27
Klinische US: Lahmheit	1	7

Somit ergaben sich eine Spezifität von 95 % und eine Sensitivität von 21 % für das Erkennen einer Lahmheit mithilfe der klinischen Untersuchung.

4.5.2. Kinematik – „Range of Motion“

4.5.2.1. Kontrollgruppe

Bei den kinematischen Parametern wurde wie auch bei den kinetischen der Referenzbereich als Gruppe 1 definiert und alles unterhalb des Referenzbereichs als Gruppe 2 (Tab. 20).

Tab. 20: Gesunde Hunde – Kontrollgruppe – Kinematische Parameter.

	Hüfte ROM in °	Knie ROM in °	Tarsus ROM in °
N	16	16	16
Mittelwert (M)	31,35	40,69	38,41
Standardabweichung (SD)	5,51	6,18	6,04
Minimum	17,79	26,46	24,69
Maximum	42,06	47,91	46,19
Untere Grenze Referenzbereich (M - 2*SD)	20,34	28,33	26,34

4.5.2.2. Hüfte ROM

Die „Range of Motion“ der Hüfte lag zu allen Zeitpunkten bei fast allen Hunden beider OP-Methoden innerhalb des Referenzbereichs, es waren immer mehr als 90,0 % der Hunde und es gab zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden OP-Methoden ($p > 0,05$) (Tab. 21).

Tab. 21: Ergebnisse des kinematischen Parameters ROM der Hüfte von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	26	2	28	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	92,9 %	7,1 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	49,1 %	50,0 %	49,1 %	
	% gesamt	45,6 %	3,5 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	27	2	29	
		% innerhalb der OP-Methode	93,1 %	6,9 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		50,9 %	50,0 %	50,9 %		
Total	% gesamt	47,4 %	3,5 %	50,9 %		
	Anzahl	53	4	57		
	% innerhalb der OP-Methode	93,0 %	7,0 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	93,0 %	7,0 %	100,0 %		
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	26	2	28	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	92,9 %	7,1 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	51,0 %	66,7 %	51,9 %	
	% gesamt	48,1 %	3,7 %	51,9 %		
	MMP	Anzahl	25	1	26	
		% innerhalb der OP-Methode	96,2 %	3,8 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		49,0 %	33,3 %	48,1 %		
Total	% gesamt	46,3 %	1,9 %	48,1 %		
	Anzahl	51	3	54		
	% within OP-Methode	94,4 %	5,6 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	94,4 %	5,6 %	100,0 %		
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	27	0	27	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	100,0 %	0,0 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	50,0 %	0,0 %	49,1 %	
	% gesamt	49,1 %	0,0 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	27	1	28	
		% innerhalb der OP-Methode	96,4 %	3,6 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		50,0 %	100,0 %	50,9 %		
Total	% gesamt	49,1 %	1,8 %	50,9 %		
	Anzahl	54	1	55		
	% innerhalb der OP-Methode	98,2 %	1,8 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	98,2 %	1,8 %	100,0 %		
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	28	2	30	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	93,3 %	6,7 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	52,8 %	50,0 %	52,6 %	
	% gesamt	49,1 %	3,5 %	52,6 %		
	MMP	Anzahl	25	2	27	
		% innerhalb der OP-Methode	92,6 %	7,4 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		47,2 %	50,0 %	47,4 %		
Total	% gesamt	43,9 %	3,5 %	47,4 %		
	Anzahl	53	4	57		
	% innerhalb der OP-Methode	93,0 %	7,0 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	93,0 %	7,0 %	100,0 %		

Die Mittelwerte lagen nur präoperativ etwas niedriger als die der gesunden Hunde, mit $29,19 \pm 5,24^\circ$ in der TPLO-Gruppe und $28,71 \pm 6,74^\circ$ (Tab. 22). Im Vergleich dazu hatten die gesunden Hunde einen Mittelwert von $31,35 \pm 5,51^\circ$. Zu allen Kontrollzeitpunkten hatten die Hunde beider OP-Methoden sehr ähnliche Mittelwerte wie die gesunden Hunde, wobei die Hunde der TPLO-Gruppe außer bei der 6-Wochen-Kontrolle im Durchschnitt immer eine etwas größere „Range of Motion“ hatten als die Hunde der MMP-Gruppe, bei diesem Unterschied handelte es sich aber nur um maximal 2° , was keinerlei klinische Relevanz hat. Zwischen den Hunden innerhalb und außerhalb der Referenzgruppe bestand zu allen Zeitpunkten bei beiden OP-Methoden ein sehr großer Unterschied.

Tab. 22: Mittelwerte des kinematischen Parameters ROM der Hüfte der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	26	2	28
	TPLO Mittelwert	30,14	16,82	29,19
	Standardabweichung	4,00	3,55	5,24
	Anzahl	27	2	29
	MMP Mittelwert	29,95	11,99	28,71
	Standardabweichung	4,77	9,03	6,74
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	26	2	28
	TPLO Mittelwert	32,33	18,29	31,33
	Standardabweichung	5,88	1,87	6,76
	Anzahl	25	1	26
	MMP Mittelwert	32,23	18,47	31,70
	Standardabweichung	6,64	-	7,04
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	27	0	27
	TPLO Mittelwert	32,36	-	32,36
	Standardabweichung	6,36	-	6,36
	Anzahl	27	1	28
	MMP Mittelwert	31,02	19,10	30,59
	Standardabweichung	6,27	-	6,55
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP- Methode	Anzahl	28	2	30
	TPLO Mittelwert	32,85	18,29	31,88
	Standardabweichung	5,81	1,45	6,72
	Anzahl	25	2	27
	MMP Mittelwert	31,32	17,62	30,31
	Standardabweichung	5,10	2,08	6,13

4.5.2.3. Knie ROM

Bei der „Range of Motion“ des Kniegelenks gab es ebenfalls wie bei der Hüfte zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden OP-Methoden ($p > 0,05$) (Tab. 23). Präoperativ waren in der TPLO-Gruppe 17,9 % der Hunde ($n = 5$) und in der MMP-Gruppe 10,3 % der Hunde ($n = 3$) außerhalb des Referenzbereichs ($p = 0,470$). Bei der Abschlusskontrolle waren es nur 3,3 % der Hunde der TPLO-Gruppe ($n = 1$) und 11,5 % der Hunde der MMP-Gruppe ($n = 3$) ($p = 0,328$).

Tab. 23: Ergebnisse des kinematischen Parameters ROM des Kniegelenks von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	23	5	28	0,470
		% innerhalb der OP-Methode	82,1 %	17,9 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	46,9 %	62,5 %	49,1 %	
	% gesamt	40,4 %	8,8 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	26	3	29	
		% innerhalb der OP-Methode	89,7 %	10,3 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		53,1 %	37,5 %	50,9 %		
Total	% gesamt	45,6 %	5,3 %	50,9 %		
	Anzahl	49	8	57		
	% innerhalb der OP-Methode	86,0 %	14,0 %	100,0 %		
% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %			
% gesamt	86,0 %	14,0 %	100,0 %			
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	26	2	28	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	92,9 %	7,1 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	52,0 %	50,0 %	51,9 %	
	% gesamt	48,1 %	3,7 %	51,9 %		
	MMP	Anzahl	24	2	26	
		% innerhalb der OP-Methode	92,3 %	7,7 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		48,0 %	50,0 %	48,1 %		
% gesamt	44,4 %	3,7 %	48,1 %			
Total	Anzahl	50	4	54		
	% within OP-Methode	92,6 %	7,4 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
% gesamt	92,6 %	7,4 %	100,0 %			
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	26	1	27	1,000
		% innerhalb der OP-Methode	96,3 %	3,7 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	50,0 %	33,3 %	49,1 %	
	% gesamt	47,3 %	1,8 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	26	2	28	
		% innerhalb der OP-Methode	92,9 %	7,1 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		50,0 %	66,7 %	50,9 %		
% gesamt	47,3 %	3,6 %	50,9 %			
Total	Anzahl	52	3	55		
	% innerhalb der OP-Methode	94,5 %	5,5 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
% gesamt	94,5 %	5,5 %	100,0 %			
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	29	1	30	0,328
		% innerhalb der OP-Methode	96,7 %	3,3 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	55,8 %	25,0 %	53,6 %	
	% gesamt	51,8 %	1,8 %	53,6 %		
	MMP	Anzahl	23	3	26	
		% innerhalb der OP-Methode	88,5 %	11,5 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		44,2 %	75,0 %	46,4 %		
% gesamt	41,1 %	5,4 %	46,4 %			
Total	Anzahl	52	4	56		
	% innerhalb der OP-Methode	92,9 %	7,1 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
% gesamt	92,9 %	7,1 %	100,0 %			

Die Mittelwerte der „Range of Motion“ des Kniegelenks der Hunde beider OP-Methoden waren präoperativ nahezu gleich mit $36,13 \pm 7,25^\circ$ bei der TPLO-Gruppe und $36,79 \pm 9,44^\circ$ bei der MMP-Gruppe (Tab. 24). Interessant war, dass die Hunde außerhalb des Referenzbereichs einen sehr viel kleineren Mittelwert hatten, die Hunde der TPLO-Gruppe hatten hier nur $26,75 \pm 0,46^\circ$ und die der MMP-Gruppe $24,55 \pm 1,89^\circ$. Ab der 6-Wochen-Kontrolle hatten die Hunde der MMP-Gruppe einen deutlich höheren Mittelwert als die Hunde der TPLO-Gruppe und lagen nahe beim Mittelwert der gesunden Gruppe mit $40,69 \pm 6,18^\circ$, wobei bei der Abschlusskontrolle mehr Hunde der TPLO-Gruppe innerhalb des Referenzbereichs lagen als Hunde der MMP-Gruppe. Die Hunde der MMP-Gruppe, die innerhalb des Referenzbereichs lagen, wiesen im Durchschnitt 6 Wochen, 3 Monate und ≥ 6 Monate postoperativ eine größere ROM als die Hunde der Kontrollgruppe auf, es handelte sich hierbei um einen Unterschied von 3–5°. Bei beiden OP-Methoden unterschieden sich die Mittelwerte der Hunde innerhalb und außerhalb des Referenzbereichs immens. Zu allen Zeitpunkten war die Standardabweichung in der MMP-Gruppe deutlich höher als in der TPLO-Gruppe, dies spricht für eine heterogenere Bewertung des Kniegelenks in der MMP-Gruppe. Die Standardabweichung in der TPLO-Gruppe nimmt im Laufe der Kontrollen ab, während die Standardabweichung in der MMP-Gruppe im Verlauf zunimmt.

Tab. 24: Mittelwerte des kinematischen Parameters ROM des Kniegelenks der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	23	5	28
	TPLO Mittelwert	38,17	26,75	36,13
	Standardabweichung	6,34	0,46	7,25
	Anzahl	26	3	29
	MMP Mittelwert	38,21	24,55	36,79
	Standardabweichung	8,92	1,89	9,44
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	26	2	28
	TPLO Mittelwert	38,83	22,75	37,69
	Standardabweichung	5,22	5,11	6,63
	Anzahl	24	2	26
	MMP Mittelwert	41,93	25,62	40,68
	Standardabweichung	9,30	0,25	9,96
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	26	1	27
	TPLO Mittelwert	37,65	27,80	37,28
	Standardabweichung	4,63	-	4,92
	Anzahl	26	2	28
	MMP Mittelwert	41,59	26,43	40,51
	Standardabweichung	8,91	1,91	9,46
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	29	1	30
	TPLO Mittelwert	37,11	25,57	36,72
	Standardabweichung	4,51	-	4,91
	Anzahl	23	3	26
	MMP Mittelwert	42,61	20,03	40,00
	Standardabweichung	7,63	8,45	10,54

4.5.2.4. Tarsus ROM

Auch bei der „Range of Motion“ des Tarsalgelenks gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden OP-Methoden ($p > 0,05$) (Tab. 25). In der TPLO-Gruppe nahm die Anzahl der Hunde außerhalb des Referenzbereichs eher zu im Verlauf der Kontrollen, in der MMP-Gruppe dagegen ab. Bei beiden OP-Methoden waren zu allen Zeitpunkten $\geq 90,0$ % der Hunde innerhalb des Referenzbereichs.

Tab. 25: Ergebnisse des kinematischen Parameters ROM des Tarsalgelenks von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	28	0	28	0,491
		% innerhalb der OP-Methode	100,0 %	0,0 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	50,9 %	0,0 %	49,1 %	
	% gesamt	49,1 %	0,0 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	27	2	29	
		% innerhalb der OP-Methode	93,1 %	6,9 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		49,1 %	100,0 %	50,9 %		
% gesamt	47,4 %	3,5 %	50,9 %			
Total	Anzahl	55	2	57		
	% innerhalb der OP-Methode	96,5 %	3,5 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	96,5 %	3,5 %	100,0 %		
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	28	0	28	0,481
		% innerhalb der OP-Methode	100,0 %	0,0 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	52,8 %	0,0 %	51,9 %	
	% gesamt	51,9 %	0,0 %	51,9 %		
	MMP	Anzahl	25	1	26	
		% innerhalb der OP-Methode	96,2 %	3,8 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		47,2 %	100,0 %	48,1 %		
% gesamt	46,3 %	1,9 %	48,1 %			
Total	Anzahl	53	1	54		
	% within OP-Methode	98,1 %	1,9 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	98,1 %	1,9 %	100,0 %		
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	26	1	27	0,491
		% innerhalb der OP-Methode	96,3 %	3,7 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	48,1 %	100,0 %	49,1 %	
	% gesamt	47,3 %	1,8 %	49,1 %		
	MMP	Anzahl	28	0	28	
		% innerhalb der OP-Methode	100,0 %	0,0 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		51,9 %	0,0 %	50,9 %		
% gesamt	50,9 %	0,0 %	50,9 %			
Total	Anzahl	54	1	55		
	% innerhalb der OP-Methode	98,2 %	1,8 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	98,2 %	1,8 %	100,0 %		
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total	p-Wert	
OP-Methode	TPLO	Anzahl	27	3	30	0,615
		% innerhalb der OP-Methode	90,0 %	10,0 %	100,0 %	
		% innerhalb der Gruppe	51,9 %	75,0 %	53,6 %	
	% gesamt	48,2 %	5,4 %	53,6 %		
	MMP	Anzahl	25	1	26	
		% innerhalb der OP-Methode	96,2 %	3,8 %	100,0 %	
% innerhalb der Gruppe		48,1 %	25,0 %	46,4 %		
% gesamt	44,6 %	1,8 %	46,4 %			
Total	Anzahl	52	4	56		
	% innerhalb der OP-Methode	92,9 %	7,1 %	100,0 %		
	% innerhalb der Gruppe	100,0 %	100,0 %	100,0 %		
	% gesamt	92,9 %	7,1 %	100,0 %		

Beim Tarsus wiesen zu allen Zeitpunkten die Hunde der MMP-Gruppe im Durchschnitt einen größeren ROM des Tarsus auf als die der TPLO-Gruppe, ab der 6-Wochen-Kontrolle betrug dieser Unterschied 4–5° (Tab. 26). Bei der TPLO-Gruppe hatten nur bei der Abschlusskontrolle die Hunde, die innerhalb des Referenzbereichs lagen, mit $39,36 \pm 5,08$ Grad einen ähnlichen Mittelwert wie die gesunden Hunde mit $38,41 \pm 6,04$ Grad. Ansonsten lagen die Mittelwerte immer unter denen der gesunden Hunde. Bei der MMP-Gruppe hatten die Hunde zu allen Zeitpunkten im Durchschnitt höhere Werte als die gesunden Hunde, sie erreichten bei der Abschlusskontrolle einen Mittelwert von $42,52 \pm 8,98^\circ$, welcher 4° über dem der gesunden Hunde lag, was klinisch noch nicht relevant war. Wie bei der ROM des Kniegelenks zeigen die Hunde der MMP-Gruppe auch bei der ROM des Tarsalgelenks immer eine höhere Standardabweichung.

Tab. 26: Mittelwerte des kinematischen Parameters ROM des Tarsalgelenks der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.

Präoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	28	0	28
	TPLO Mittelwert	39,61	-	39,61
	Standardabweichung	5,95	-	5,95
	Anzahl	27	2	29
	MMP Mittelwert	43,23	17,69	41,47
	Standardabweichung	11,55	5,05	12,97
6 Wochen postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	28	0	28
	TPLO Mittelwert	36,41	-	36,41
	Standardabweichung	5,92	-	5,92
	Anzahl	25	1	26
	MMP Mittelwert	41,84	22,27	41,08
	Standardabweichung	8,91	-	9,54
3 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	26	1	27
	TPLO Mittelwert	37,51	23,55	37,00
	Standardabweichung	6,04	-	6,50
	Anzahl	28	0	28
	MMP Mittelwert	41,26	-	41,26
	Standardabweichung	8,57	-	8,57
≥ 6 Monate postoperativ		Gruppe 1	Gruppe 2	Total
OP-Methode	Anzahl	27	3	30
	TPLO Mittelwert	39,36	24,62	37,88
	Standardabweichung	5,08	1,85	6,60
	Anzahl	25	1	26
	MMP Mittelwert	43,34	21,92	42,52
	Standardabweichung	8,10	-	8,98

5. DISKUSSION

Ziel dieser Arbeit war es, eine seit langem etablierte biomechanische Stabilisierungsmethode, die TPLO, mit einer neueren OP-Technik, der MMP, zu vergleichen, da es bisher noch keine vergleichenden Studien gibt und zur MMP bis jetzt sehr wenig Literatur existiert. Zum objektiven Vergleich wurde die laufbandgestützte Ganganalyse herangezogen.

In beiden Gruppen waren bei der Abschlusskontrolle im Rahmen der klinischen Untersuchung mehr als 80 % der Hunde lahmheitsfrei, die übrigen Hunde waren in beiden Gruppen noch undeutlich geringgradig oder maximal deutlich geringgradig lahm. Dies kann als sehr gutes Ergebnis gewertet werden. Sehr viel aussagekräftiger als die subjektive Lahmheitsbeurteilung ist jedoch die laufbandgestützte Ganganalyse. Dass die subjektive Lahmheitsbeurteilung nicht gut mit der objektiven korreliert, wurde bereits von anderen Autoren beschrieben (HORSTMAN et al. 2004, HIELM-BJÖRKMAN 2007, QUINN et al. 2007, WAXMAN et al. 2008, ROUSH et al. 2010, CONZEMIUS und EVANS 2012). Bei unseren eigenen Untersuchungen ergab sich für die klinische Beurteilung zum Erkennen einer Lahmheit eine gute Spezifität mit 95 %. Es gab nur 1 Hund, der klinisch als lahm eingestuft wurde, bei dem sich die Lahmheit aber durch die ganganalytische Beurteilung nicht bestätigte. Deutlich schlechter schnitt die Sensitivität mit 21 % ab, das heißt nur etwa 1/5 aller in der Ganganalyse als lahm eingestuften Hunde wurden anhand der klinischen Untersuchung auch als lahm eingestuft. Beim Vergleich dieser Werte muss beachtet werden, dass sehr streng vorgegangen wurde, was die ganganalytische Einstufung als lahm anging. Es wurden 4 Parameter betrachtet, nämlich PVF und VI und jeweils die Symmetrie-Indizes und wenn ein Hund nur bei einem der Parameter den Grenzwert überschritten hatte, wurde er als lahm eingestuft. Insgesamt waren noch 50,00 % der Hunde der TPLO-Gruppe und 62,96 % der Hunde der MMP-Gruppe laut dieser Einteilung bei der Abschlusskontrolle lahm auf der operierten Gliedmaße. Zu einem ganz ähnlichen Ergebnis kamen jedoch auch VOSS et al. (2008), wobei diese 37 Hunde nach einer TTA ganganalytisch untersuchten. Sie kamen zu dem Ergebnis, dass bei der Kontrolle 4–16 Monate nach TTA noch 64,3 % der Hunde lahm gingen, wobei sie dies ausschließlich nach den Symmetrie-Indizes von PVF und VI beurteilten. Ebenfalls zu einem sehr ähnlichen Ergebnis kamen sie beim

Vergleich mit einer gesunden Kontrollgruppe. Auch bei ihnen gab es immer einen signifikanten Unterschied zwischen der TTA-Gruppe und der Kontrollgruppe, wie auch in der hier vorliegenden Studie beim Mittelwertvergleich. Bei den eigenen Ergebnissen hatte aber die TPLO-Gruppe bei der Abschlusskontrolle beim Parameter PVF keinen signifikanten Unterschied mehr zur gesunden Kontrollgruppe. Außerdem erreichten bei Voss et al. die Hunde nach TTA im Durchschnitt etwa 90,0 % der Mittelwerte von PVF und VI der gesunden Hunde und bei den eigenen Ergebnissen nach TPLO im Durchschnitt 89,9 % und nach MMP 84,5 %, was wiederum zeigt, dass die Ergebnisse nahezu übereinstimmen. Eine ebenfalls mit der eigenen gut vergleichbare Studie ist von CONZEMIUS et al. (2005), die Labrador Retriever mit einem vorderen Kreuzbandriss nach intra- und extrakapsulärer Stabilisierung und nach TPLO untersuchte und diese 3 Gruppen ebenfalls mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen. Eine sehr ähnliche Einteilung erfolgte mittels der Kontrollgruppe, hier wurde für PVF und VI ein Cutoff von 80 % der Gliedmaßenfunktion der gesunden Hunde benutzt, während in der eigenen Studie der Mittelwert abzüglich der doppelten Standardabweichung genutzt wurde. In der TPLO-Gruppe lagen bei CONZEMIUS et al. (2005) 89,1 % der Hunde bei der 6-Monats-Kontrolle im Referenzbereich. Bei den eigenen Ergebnissen lagen in der TPLO-Gruppe 86,7 % und in der MMP-Gruppe 75,95 % der Hunde innerhalb des Referenzbereichs, wenn man PVF und VI zusammen nimmt. Betrachtet man die relativen Werte von PVF und VI bei der Abschlusskontrolle, für PVF im Mittel in der TPLO-Gruppe $41,08 \pm 5,50$ % kg KGW und in der MMP-Gruppe $39,11 \pm 5,26$ % kg KGW und für VI im Mittel in der TPLO-Gruppe $11,51 \pm 2,08$ % kg KGW x sek und in der MMP-Gruppe $10,68 \pm 1,84$ % kg KGW x sek, so sind diese Werte sehr gut mit anderen Studien vergleichbar, bei denen Hunde nach einer TPLO im Schritt untersucht wurden. Bei CONZEMIUS et al. (2005) betragen die Mittelwerte 6 Monate nach einer TPLO für PVF $40,71 \pm 4,95$ % kg KGW und für VI $13,56 \pm 1,82$ % kg KGW x sek und bei ROBINSON et al. (2006) ≥ 4 Monate nach einer TPLO für PVF $40,4 \pm 4,0$ % kg KGW und für VI $14,1 \pm 1,9$ % kg KGW x sek. Die etwas höheren Werte von VI könnten dadurch erklärt werden, dass die Hunde bei beiden Untersuchungen etwas schneller gelaufen waren als bei den eigenen.

Der Einschluss von Hunden mit einem beidseitigen Kreuzbandriss in die eigenen Untersuchungen kann als Kritikpunkt gesehen werden. Obwohl die

Bodenreaktionskräfte der operierten Hintergliedmaße nicht mit denen der kontralateralen Gliedmaße verglichen wurden, sondern mit den Daten einer gesunden Kontrollgruppe, könnte die Umverteilung der Kräfte auf die Vordergliedmaßen theoretisch einen Effekt auf unser Ergebnis gehabt haben. Da aber zwischen 21 und 61,3 % der Hunde mit einem vorderen Kreuzbandriss bilateral betroffen sind (BENNETT et al. 1988, DOVERSPIKE et al. 1993, CABRERA et al. 2008, BUOTE et al. 2009, GRIERSON et al. 2011), fällt es schwer, nur einseitige Hunde in Studien einzuschließen. Die meisten ähnlichen Studien, die ebenfalls die computergestützte Ganganalyse zur Objektivierung der Ergebnisse genutzt haben und die nur unilateral betroffene Hunde einschlossen, haben deutlich geringere Fallzahlen als die eigene (DE MEDEIROS et al. 2011, BÖDDEKER et al. 2012, FERREIRA et al. 2016, WUSTEFELD-JANSSENS et al. 2016). Außerdem ist es schwer zu sagen, welche Hunde wirklich nur unilateral betroffen sind und die meisten Untersuchungen bleiben den Beweis dafür schuldig. Bei den eigenen Untersuchungen wurde die Erfahrung gemacht, dass viele Hunde, die klinisch als unilateral eingestuft worden waren, bereits Veränderung auf der kontralateralen Gliedmaße oder eine Gewichtsverlagerung auf die Vordergliedmaßen in der Ganganalyse zeigten und dann im Verlauf der Studie mit einem Kreuzbandriss auf der zweiten Seite vorgestellt wurden. Lediglich experimentelle Studien, bei denen gesunden Hunden in einer Operation das vordere Kreuzband durchtrennt wird und anschließend versorgt wird, sind in der Lage, sicher zu sagen, dass ein unilateraler Kreuzbandriss vorliegt (BALLAGAS et al. 2004, LEE et al. 2007). Solche Studien sind aber besonders in Deutschland durch sein strenges Tierschutzgesetz ethisch schwer zu vertreten. Zu bedenken ist hier auch, dass unter diesen experimentellen Bedingungen keinerlei Begleiterscheinungen eines vorderen Kreuzbandrisses wie z. B. Osteoarthrosen vorliegen und die Ergebnisse solcher Studien nur schwer auf Hunde übertragbar sind, die auf natürlichem Weg eine Kreuzbandruptur erleiden und diese Begleiterscheinungen zeigen. Aus allen diesen Gründen sollten Wege gefunden werden, die einen Vergleich trotz bilateral vorliegendem Kreuzbandriss möglich machen und auch andere Studien haben bereits mit bilateral erkrankten Tieren gearbeitet (VOSS et al. 2008, BERGER et al. 2015). Bei den eigenen Untersuchungen wurde dieses Problem dadurch gelöst, dass bei allen Einteilungen niemals nur die erkrankte mit der kontralateralen Gliedmaße verglichen wurde, sondern Vergleiche mit einer gesunden Kontrollgruppe vorgenommen wurde. Bei

der Einteilung der Hunde in lahm oder nicht lahm, wurden zusätzlich zu den Symmetrie-Indizes Grenzwerte für PVF und VI verwendet, um bilateral erkrankte Tiere nicht fälschlicherweise als lahmheitsfrei einzustufen.

Dass die Hunde in der eigenen Studie nur im Schritt untersucht wurden, könnte ebenfalls als Limitation gesehen werden. Allerdings wurde gezeigt, dass die vertikalen Kräfte im Schritt und Trab sehr stark korrelieren (EVANS et al. 2003). Außerdem konnten EVANS et al. (2003) von 100,0 % der Hunde Daten im Schritt sammeln, aber nur von 67,0 % der Hunde im Trab. Hauptsächlich fehlten im Trab von den Hunden die Daten, die eine hochgradige Lahmheit zeigten, da diese nicht im Trab auf dem Laufband laufen konnten, wodurch dann die Ergebnisse verfälscht wurden in Richtung der weniger lahmen Tiere. Da es vielen Hunden in der eigenen Studie unmöglich gewesen wäre, präoperativ im Trab auf dem Laufband zu laufen und somit diese Werte gefehlt hätten und wie Evans et al. herausfanden die Ergebnisse im Schritt und Trab sehr gut korrelieren, wurde ganz auf Aufnahmen im Trab verzichtet.

BÖDDEKER et al. (2012) verglichen die ganganalytischen Ergebnisse von Hunden nach einer extrakapsulären Technik mit Hunden nach einer TPLO. Es gab in der TPLO-Gruppe kaum Veränderungen in der ROM von Hüft-, Knie- und Tarsalgelenk gab und auch in der eigenen Studie gab es insgesamt nur sehr kleine Veränderungen, insbesondere in der TPLO-Gruppe. In der MMP-Gruppe gab es bis zum Ende bei der ROM von Knie- und Tarsalgelenk eine sehr viel höhere Standardabweichung als in der TPLO- und in der Kontrollgruppe. So zeigen die Hunde der MMP-Gruppe ein heterogeneres Ergebnis als die der TPLO-Gruppe. Zur Beurteilung der Ursache und genaueren Interpretation sollten weitere kinematische Parameter bzw. die Kurvenverläufe der einzelnen Gelenke näher betrachtet werden.

Bezüglich der Progression der Osteoarthrose konnte nicht nur nachgewiesen werden, dass es keinen signifikanten Unterschied zwischen TPLO- und MMP-Gruppe gab, es konnte sogar eine Gleichheit zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden, wenn man die präoperativen Werte mit denen der Abschlusskontrolle verglich. In beiden Gruppen starteten die Hunde durchschnittlich mit einer geringgradigen Arthrose und bei der Abschlusskontrolle ≥ 6 Monate postoperativ lagen sie zwischen einer gering- und einer mittelgradigen Arthrose, hatten sich also alle im Durchschnitt um einen halben Arthrosegrad

verschlechtert. Für die eigene Bewertung wurde das Mager-Schema genutzt, um die Untersuchung so gut wie möglich zu objektivieren (MAGER 2000). SLOCUM und DEVINE SLOCUM (1993) nannten einen Stillstand der Arthroseprogression einen großen Vorteil der von ihnen erfundenen TPLO. Dass es nach einer TPLO wirklich zum Stillstand der Arthroseprogression kommt, wurde durch im Folgenden genannte Studien jedoch bereits widerlegt. AU et al. (2010) nutzten nicht das gleiche Schema wie die eigene Studie, aber ein ähnliches zur Bewertung der Arthrosen, um die Untersuchung zu objektivieren. Sie verglichen die Arthroseprogression nach einer extrakapsulären Versorgungstechnik mit der nach TPLO und konnten keinen signifikanten Unterschied zwischen beiden OP-Methoden feststellen, aber bei beiden Methoden kam es zu einem signifikanten Fortschreiten der Arthrosen, der Zeitraum der Untersuchung betrug allerdings 2 Jahre und damit deutlich mehr als in der eigenen Studie. Ein insgesamt signifikantes Fortschreiten der Arthrose nach Versorgung eines kranialen Kreuzbandrisses mittels TPLO bis zur 6-Monats-Kontrolle gab es auch in der Studie von RAYWARD et al. (2004), allerdings zeigten 57,5 % der Hunde kein Fortschreiten der Arthrosen und 2,5 % der Hunde sogar eine Abnahme des Osteophytose-Scores, wobei angenommen wurde, dass diese angebliche Abnahme durch ein „Remodelling“ der Osteophyten bedingt war und keine tatsächliche Abnahme der Arthrosen bedeutete. In dieser Untersuchung wurden die Kniegelenke ebenfalls mittels eines Scoring-Systems bewertet, 0 bedeutete hier keine Arthrose und 4 war der höchste Arthrosegrad. Es wurde hier allerdings nicht mit Kommazahlen gerechnet, sondern nur betrachtet, ob die Knie in diesen Kategorien geblieben waren oder sich um 1 oder mehr Grade verschlechtert hatten. Betrachtet man die eigenen Zahlen unter diesem Aspekt und rundet auf ganze Zahlen und damit Arthrosegrade auf, verschlechterten sich in der TPLO-Gruppe ebenfalls 11 von 29 ausgewerteten Tieren (37,9 %) gar nicht und die restlichen 18 Tiere um 1 Grad (62,1 %) und in der MMP-Gruppe blieben auch 11 von hier 28 ausgewerteten Tieren (39,3 %) beim gleichen Arthrosegrad und nur 17 Tiere (60,7 %) verschlechterten sich um 1 Grad. LAZAR et al. (2005) fanden heraus, dass Hunde mit einer größeren Arthroseprogression 5,78-fach wahrscheinlicher mittels extrakapsulärer Technik versorgt worden waren als mittels TPLO. Dies scheint wiederum die These von Slocum und Devine Slocum zu stützen, zumindest dass es nach dynamischen Stabilisierungsmethoden zu einer weniger starken Arthroseprogression kommt als nach extra- und intrakapsulären

Stabilisierungsmethoden, wenn auch nicht zum Stillstand, denn auch in dieser Studie gab es 8 Wochen nach TPLO ein signifikantes Fortschreiten der Arthrosen. Eine andere Untersuchung fand heraus, dass die Zunahme von Osteophyten und arthrotischen Veränderungen in Kniegelenken nach Versorgung eines kranialen Kreuzbandrisses kein linearer Prozess zu sein scheint (INNES et al. 2004). Es gab eine stärkere Arthroprogression zwischen der Erstuntersuchung und der 7-Monats-Untersuchung als zwischen der 7-Monats- und der 13-Monats-Untersuchung. Man muss also bedenken, dass die eigenen Zahlen mit durchschnittlich $0,55 \pm 0,21$ Grad Arthroprogression in der TPLO-Gruppe und $0,60 \pm 0,33$ Grad in der MMP-Gruppe in einer Zeit von $6,74 \pm 1,15$ Monaten stattfand und es weiteren Nachkontrollen vorbehalten ist, herauszufinden, ob das Fortschreiten der Arthrosen in gleichem Maß weiter stattfindet oder wie in der Studie von Innes et al. danach abnimmt. Bei allen Vergleichen zwischen den verschiedenen Studien muss beachtet werden, dass jede ein etwas anderes Scoring-System genutzt hat und dass die Kontrollzeitpunkte oft sehr unterschiedlich waren. Interessant ist aber, dass mehrere Studien herausgefunden haben, dass der Schweregrad der Arthrosen und der Arthroprogression nicht mit dem klinischen Ergebnis korreliert (GORDON et al. 2003, BOYD et al. 2007, MORGAN et al. 2010). Als Nachteil der eigenen Daten muss bedacht werden, dass die Auswertung nicht wie in anderen Studien (INNES et al. 2004, RAYWARD et al. 2004, AU et al. 2010) geblindet erfolgt war. Was nach Umstellungsosteotomien niemals geblindet werden kann, ist, welche OP-Technik die Tiere erhalten hatten, da dies auf den Röntgenbildern aufgrund der Implantate immer zu sehen ist. Jedoch wurde die eigene Auswertung von einem einzigen Auswerter vorgenommen, sodass im Falle einer auswerterbedingten Verschiebung der Arthrosebeurteilung von einer homogenen Verschiebung ausgegangen werden kann und somit die Progression zwischen den Untersuchungsterminen keiner Verschiebung unterliegen sollte.

Der einzige klinische Untersuchungsparameter, bei dem es einen signifikanten Unterschied zwischen der TPLO- und der MMP-Gruppe gab, war der Parameter Gelenkfibrose. Es hatten signifikant mehr Hunde der TPLO-Gruppe bei der Abschusskontrolle eine Gelenkfibrose als Hunde der MMP-Gruppe. Dieser Parameter hatte aber anscheinend keine Auswirkung auf das Outcome, wie die ganganalytischen Untersuchungen gezeigt haben. Bei allen anderen klinischen

Untersuchungsparametern bestanden zu keinem der Kontrollzeitpunkte signifikante Unterschiede.

Meniskusläsionen sind eine häufige Begleiterkrankung der vorderen Kreuzbandruptur beim Hund und treten studienabhängig in 33,0–77,0 % der Fälle auf (BENNETT und MAY 1991, METELMAN et al. 1995, TIMMERMANN et al. 1998, CASALE und MCCARTHY 2009, FITZPATRICK und SOLANO 2010). Bei den hier erhobenen Untersuchungen hatten 43 der 76 operierten Kniegelenke eine Meniskusläsion, dies liegt mit 56,6 % also im vorher genannten Rahmen der anderen Untersuchungen. 17 der 76 Kniegelenke hatten zum Zeitpunkt der operativen Versorgung einen partiellen und 59 einen vollständigen vorderen Kreuzbandriss. HAYES et al. (2010) fanden heraus, dass das Risiko einer Meniskusläsion bei einem vollständigen Kreuzbandriss 12,9-mal höher ist als mit einem partiellen Kreuzbandriss und dass sich die Wahrscheinlichkeit für das Vorliegen einer Meniskusverletzung mit einem Kreuzbandriss pro Woche um 2,6 % erhöht, wenn der Kreuzbandriss nicht versorgt wird. Dazu passt, dass bei den eigenen Untersuchungen nur bei 3 der 17 partiellen Kreuzbandrisse eine Meniskusläsion vorlag (17,6 %), aber bei 40 der 59 vollständigen Kreuzbandrisse (67,8 %). Mit einer Spezifität von 100 % und einer Sensitivität von 44 % waren die eigenen Untersuchungen in der Lage, beim Vorliegen eines Meniskusklicks sicher auf eine Meniskusläsion schließen zu können. Umgekehrt konnte bei Nichtvorliegen eines Meniskusklicks eine Meniskusläsion nicht ausgeschlossen werden. In anderen Studien gibt es unterschiedliche Angaben zu Sensitivität und Spezifität, eine Studie gibt eine Sensitivität von 28 % für ein auditiv wahrnehmbares Meniskusklicken als diagnostisches Mittel für das Vorliegen einer Meniskusläsion an (CASE et al. 2008), eine andere eine Sensitivität von 56 % und eine Spezifität von 75 % (ARNAULT et al. 2009).

Zur Inzidenz von sekundären Meniskusläsionen nach TPLOs gibt es Angaben von 0,7 % bis 4,3 % (PACCHIANA et al. 2003, CAREY et al. 2005, DUERR et al. 2008, FITZPATRICK und SOLANO 2010, COOK et al. 2010b, GATINEAU et al. 2011). Da es zur MMP noch keine Zahlen gibt, müssen die Zahlen nach einer Versorgung mittels TTA herangezogen werden, diese reichen von 3,6 % bis 8,5 % (HOFFMANN et al. 2006, LAFEVER et al. 2007, STEIN und SCHMOEKEL 2008, VOSS et al. 2008, PROOT und CORR 2013). Es scheint, dass sekundäre Meniskusläsionen deutlich häufiger nach einer TTA als nach einer TPLO

auftreten. CHRISTOPHER et al. (2013), bei denen die Ergebnisse von TPLO, TTA und TR miteinander verglichen wurden, kamen sogar zu noch höheren Zahlen, hier gab es in der TR-Gruppe 6,3 % sekundäre Meniskusläsionen, in der TPLO-Gruppe 12,3 % und in der TTA-Gruppe 27,8 %. Somit war das Risiko in dieser Studie signifikant und 3-mal höher, eine sekundäre Meniskusläsion nach einer TTA zu erleiden als nach einer TPLO. In diesem Zusammenhang ist es sehr interessant, dass es in der vorliegenden Studie mit 7,3 % sogar mehr sekundäre Meniskusläsionen in der TPLO-Gruppe gab als in der MMP-Gruppe mit 5,7 %, auch wenn dieser Unterschied nicht signifikant war. Es scheint so, als ob es bei der MMP ein deutlich niedrigeres Risiko von sekundären Meniskusläsionen als bei der TTA gäbe. Bei den Vergleichen mit den anderen Studien muss bedacht werden, dass die eigene Studie einen Untersuchungszeitraum von 4 Jahren umfasste, in dem alle Komplikationen erfasst werden konnten, was deutlich länger als in den meisten anderen Studien ist, die sehr spät aufgetretene Komplikationen dadurch oft nicht berücksichtigen konnten. Sekundäre Meniskusläsionen bleiben ein ungelöstes Problem nach der Versorgung von kranialen Kreuzbandrissen beim Hund. Der Nutzen eines „Meniscal Release“ wird noch immer kontrovers diskutiert und könnte zumindest in solchen Fällen einen Erfolg bringen, bei denen kein MRT oder Arthroskopie möglich ist, um beurteilen zu können, ob bereits ein Meniskusschaden vorliegt (THIEMAN et al. 2006). Allerdings kommt es durch ein „Meniscal Release“ zu einer Störung in der Kraftübertragung durch den Meniskus und führt dadurch zu einer größeren Gelenkinstabilität und zu einer vermehrten Belastung und Beanspruchung des Knorpels (POZZI et al. 2006, POZZI et al. 2008b). Aus diesen Gründen wurde in der hier vorliegenden Studie auf ein „Meniscal Release“ verzichtet.

Zur Komplikationsrate nach TPLO geben andere Autoren Zahlen zwischen 9,7 % und 53,3 % an (SLOCUM und DEVINE SLOCUM 1993, PACCHIANA et al. 2003, PRIDDY et al. 2003, STAUFFER et al. 2006, CORR und BROWN 2007, DUERR et al. 2008, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010, COOK et al. 2010b, GATINEAU et al. 2011, FERREIRA et al. 2016). Die eigenen Zahlen mit 7,3 % Major- und 43,9 % Minor-Komplikationen in der TPLO-Gruppe und 20 % Major- und 17,1 % Minor-Komplikationen in der MMP-Gruppe erscheinen im ersten Moment hoch. Allerdings sind die Zahlen niedriger, wenn man die Anzahl der Hunde betrachtet, die eine Komplikation hatten. Für

Minor- und Major-Komplikationen insgesamt waren dies in der TPLO-Gruppe 40,0 % und in der MMP-Gruppe 25,8 % der Hunde. Dies stellte jedoch keinen signifikanten Unterschied dar. An diesen Zahlen erkennt man, dass einige Hunde bei beiden OP-Methoden mehrere Komplikationen hatten. Ein Hund der MMP-Gruppe mit einem beidseitigen Kreuzbandriss hatte z. B. auf der zweiten Seite einen Implantatausriss aufgrund von nicht streng genug eingehaltener Ruhighaltung, sodass er reoperiert werden musste. Auf dieser Seite fiel später ein Bruch der Drahtcerclage als rein radiologischer Nebenbefund auf und derselbe Hund reagierte nach ca. 6 Monaten auf die Implantate mit Serombildung, sodass beidseits die Pins und die Drahtcerclagen entfernt werden mussten. Dies war der Hund mit den meisten Komplikationen, insgesamt 3 Major- und 1 Minor-Komplikation. 7 der 15 im Rahmen der Studie beidseitig operierten Hunde erlitten eine oder mehrere Komplikationen und 5 dieser 7 Hunde (71,4 %) auf beiden Seiten. So liegt die Vermutung nahe, dass manche der Hunde zu Komplikationen neigten. Zudem wurden nicht in allen Studien Komplikationen erfasst, die ohne klinische Relevanz waren, wie im hier vorliegenden Fall z. B. die Fibulafrakturen bei der TPLO (CAREY et al. 2005, COOK et al. 2010b). Außerdem wurden bei den eigenen Untersuchungen auch Komplikationen erfasst, die sehr lange (≥ 6 Monate postoperativ) nach der Operation auftraten, wie bereits im letzten Abschnitt besprochen. Alle Implantatentfernungen, ob wegen Kälte-/Wärmeempfindlichkeit oder wegen reaktiven Veränderungen, wurden frühestens 6 Monate nach der Versorgung des kranialen Kreuzbandrisses durchgeführt. In vielen der vorher genannten Untersuchungen sind solche Komplikationen nicht erfasst worden, da sich der Untersuchungszeitraum über eine kürzere Zeit erstreckte. Weiterhin gab es Komplikationen, die nicht direkt operationsbedingt waren, sondern es gab einen Traumavorbericht wie z. B. bei der Tibiafraktur oder dem Implantatausriss in der MMP-Gruppe oder bei den Wundheilungsstörungen, bei denen sich die Hunde vorberichtlich an der Wunde geschleckt hatten. Mit der Anzahl der Wundheilungsstörungen, 19,5 % in der TPLO-Gruppe und 13,3 % in der MMP-Gruppe (11,4 %, die konservativ behandelt werden konnten und 2,9 %, die eine Wundrevision benötigten), liegen die eigenen Zahlen im Rahmen anderer Untersuchungen. Oft werden dort Wundheilungsstörungen noch einmal unterteilt in Infektionen, Serome, Hämatome, Schwellungen und Wunddehiszenzen, wenn man diese alle zusammenzählt, liegt die Wundheilungsstörungsrate insgesamt zwischen 2,9 % und 21,6 % (PACCHIANA et al. 2003, PRIDY et al. 2003,

CORR und BROWN 2007, CONKLING et al. 2010, FITZPATRICK und SOLANO 2010, COOK et al. 2010b, GATINEAU et al. 2011). Dabei muss bedacht werden, dass die Tiere in der eigenen Studie nach der Operation 2–3 Tage stationär waren und nach 10 Tagen zum Fäden ziehen wiedervorstellig wurden, sodass alle Wundheilungsstörungen genau erfasst werden konnten und sehr streng vorgegangen wurde, was die Einschlusskriterien als Wundheilungsstörung anging. Außerdem war hier der Großteil der Wundheilungsstörungen dadurch bedingt, dass sich die Tiere vorberichtlich gegen tierärztlichen Rat ohne Halskragen an ihrer Wunde geschleckt hatten. Von den insgesamt 11 Wundheilungsstörungen waren nur 2 Wundinfektionen, bei denen Bakterien nachgewiesen werden konnten. Dass die Zahl der Wundheilungsstörungen nach TPLOs höher ist als nach anderen sauberen Operationen, bei denen es Angaben von 2,5 % bis 5,8 % gibt (VASSEUR et al. 1988, EUGSTER et al. 2004), wurde bereits in anderen Studien festgestellt und diskutiert (BOUDRIEAU 2009, FREY et al. 2010, BERGH und PEIRONE 2012). Der Grund für diese höhere Rate an Wundheilungsstörungen ist noch nicht geklärt und scheint multifaktoriell zu sein. Als mögliche Gründe werden eine starke Traumatisierung des Weichteilgewebes, eine lange Narkosedauer, bestimmte Eigenschaften der Beschaffenheit der eingebrachten Implantate und eine geringe Weichteilabdeckung der proximo-medialen Tibia genannt. Des Weiteren gibt es den Verdacht einer höheren Rate von Wundinfektionen nach dem Gebrauch von Propofol zur Narkoseeinleitung, bei TPLOs und anderen sauberen Wunden (HELDMANN et al. 1999, STRACHAN et al. 2008, FREY et al. 2010). Die Hunde der eigenen Studie wurden ebenfalls mit Propofol in Narkose gelegt, allerdings wurde streng auf einen hygienischen Umgang geachtet. Zur Angabe von Komplikationen nach MMP ist bisher erst ein Paper erschienen (NESS 2016). Der Autor nennt 2 Tibiafrakturen (8,0 %) als Major-Komplikationen, nachdem dann allerdings die Positionierung der Drahtcerclagen geändert worden war, trat diese Komplikation nicht mehr auf. Bei den eigenen Operationen war ebenfalls die letztgenannte Positionierung der Drahtcerclagen verwendet worden. Es gab zwar trotzdem eine Tibiafraktur als Major-Komplikation, diese war vorberichtlich allerdings traumatisch bedingt. 2-mal trat in der eigenen Studie ein Bruch der Drahtcerclagen als radiologischer Nebenbefund und somit Minor-Komplikation auf. Da die Studie angefangen wurde, als bei der MMP zur Fixierung Drahtcerclagen benutzt wurden, wie im Orthomed User Guide 1.1 beschrieben (NESS 2011), wurden alle

weiteren Hunde auf diese Weise operiert. Im neuen Orthomed User Guide 1.2 gibt es als Alternative zur Fixierung mittels Drahtcerclagen eine spezielle Klammer, die distal neben dem Keil eingesetzt wird (NESS 2014), so kann bei dieser neuen Methode keine Komplikation mehr in Verbindung mit den Drahtcerclagen auftreten.

Die präoperative Planung wird von den Erfindern der MMP als einer der großen Vorteile der MMP gegenüber der TTA genannt (NESS 2011, NESS 2016). Mit dem ersten Orthomed Leitfaden 2011 wurde von NESS (2011) eine Messung vorgestellt, für die nicht wie bei der TTA ein Röntgenbild des Kniegelenks im 135°-Winkel benötigt wird. Stattdessen liegen alle Bezugspunkte auf der Tibia und mithilfe dieser wird die Keilgröße errechnet (Abb. 13). Im aktuellen Orthomed Leitfaden 2014 wird sogar völlig auf eine Messung verzichtet, die Keilgröße orientiert sich ausschließlich an der Rasse der Hunde (NESS 2014) (Abb. 14). NESS (2014) stellt hierbei die Theorie des „Crossover Punkts“ von MONTAVON und TEPIC in Frage, welcher bei einem Patellarsehnenwinkel von 90° eintreten soll und während dem weder das kraniale noch das kaudale Kreuzband unter Spannung sind (MONTAVON et al. 2002, TEPIC et al. 2002, TEPIC und MONTAVON 2004). Er hingegen setzt auf ein gutes klinisches Outcome, für das es laut NESS (2014) nicht wichtig ist, genau die 90° zu erreichen. Da die eigenen Operationen 2012 starteten, als von Orthomed noch eine präoperative Messung empfohlen wurde, ist dies während der laufenden Studie nicht geändert worden. Betrachtet man die Keilgrößen, die für die eigenen Operationen gemessen wurden, fällt auf, dass oftmals die gleichen Rassen sehr unterschiedliche Keilgrößen bekamen (siehe Anhang). Bei Labrador Retrievern z. B. wurden Keilgrößen von 6 bis 13,5 mm gemessen. Laut den neuen Empfehlungen würde jeder normalgroße Labrador Retriever einen 9-mm-Keil erhalten. Interessant ist in diesem Zusammenhang auch, dass bei 2 der Hunde in der MMP-Gruppe mit einem beidseitigen Kreuzbandriss auf beiden Seiten je eine andere Keilgröße ermittelt worden war. Fraglich ist, ob diese Hunde wirklich einen so unterschiedlichen Patellarsehnenwinkel auf beiden Seiten hatten oder ob es eventuell auch an den Messungen liegen könnte, da kleine Veränderungen der Messlinien oft einen Effekt auf die errechnete Keilgröße haben. Trotzdem stellt sich bei den neuen Empfehlungen von Orthomed die Frage, ob man die Keilgrößen ausschließlich an den Hunderassen festmachen kann, da es auch

innerhalb jeder Rasse erhebliche Größen- und Gewichtsunterschiede gibt. Außerdem ist nicht klar, welche Keilgröße man bei Mischlingen oder Hunderassen wählt, die nicht in den Empfehlungen behandelt werden. Weitere Untersuchungen mit größeren Fallzahlen sind notwendig, die den Einfluss der Keilgröße auf das Ergebnis der Ganganalyse überprüfen.

Für die Erkrankung des vorderen Kreuzbandes fand sich im Rahmen dieser Studie das bereits von anderen Autoren beschriebene Patientengut. Diese konnten zeigen, dass hinsichtlich der Rasseprävalenz von einer Prädisposition ausgegangen werden kann, bisher konnte nur für den Neufundländer eine genetische Rasseprädisposition tatsächlich nachgewiesen werden (WILKE et al. 2006, WILKE et al. 2009, BAIRD et al. 2014). Für andere Rassen konnte bisher zwar keine Prädisposition nachgewiesen werden, sie waren aber sehr häufig in den Studien vertreten, es handelte sich dabei um Rottweiler, Staffordshire Terrier, Bulldogge, Chesapeake Bay Retriever, Chow-Chow, Labrador Retriever, Boxer, Pudel und Bernhardiner (BRUNNBERG 1990, WHITEHAIR et al. 1993, WITSBERGER et al. 2008). Da die hier vorliegende Studie eine Gewichtsvorgabe von 20 bis 35 kg hatte, wären viele der vorher genannten Rassen zu schwer, um daran teilzunehmen. Die in dieser Studie am häufigsten vertretene Hunderasse war aber trotzdem eine der vorher genannten, nämlich der Labrador Retriever, der 32,7 % des Patientenguts ausmachte. 1/6 der Hunde waren in dieser Studie Mischlinge, die in anderen Studien häufig dominierten (AU et al. 2010, NELSON et al. 2013). Somit deckte sich das eigene Patientengut mit dem in den Studien beschriebene.

Die Annahme, dass kastrierte Hunde häufiger betroffen sind als unkastrierte (TORRES DE LA RIVA et al. 2013) konnte in der vorliegenden Studie bestätigt werden. Von den insgesamt 26 männlichen Hunden waren 19 kastriert und von den 35 weiblichen waren 26 kastriert, somit waren 73,8 % der Hunde kastriert. Dies könnte jedoch auch daran liegen, dass in Großstädten, hier München, vermutlich mehr kastrierte als unkastrierte Hunde leben. Außerdem neigen kastrierte Hunde eher zu Übergewicht als unkastrierte und Autoren fanden heraus, dass sich pro zusätzlichem kg KGW das Risiko für eine mediale Meniskusläsion um 1,4 % erhöht (HAYES et al. 2010) und wahrscheinlich lässt sich diese Beobachtung auch auf das Risiko eines kranialen Kreuzbandrisses übertragen.

Letztendlich lässt sich sagen, dass sich zwischen den beiden OP-Methoden keine

signifikanten Unterschiede finden ließen. Lediglich kleine Unterschiede beim Vergleich der Effektgrößen der ganganalytischen Daten lassen erahnen, dass die Hunde der TPLO-Gruppe ein etwas besseres funktionelles Outcome zeigen als die Hunde der MMP-Gruppe, diese Unterschiede sind aber sehr gering. Außerdem gab es bei der Abschlusskontrolle beim ganganalytischen Parameter PVF zwischen der MMP-Gruppe und der Kontrollgruppe einen signifikanten Unterschied und zwischen der TPLO-Gruppe und der Kontrollgruppe nicht. Betrachtet man die Arthroseprogression, so konnte aber sogar eine Gleichheit zwischen beiden Gruppen nachgewiesen werden. Auch klinisch gab es außer bei der Kapselfibrose keine signifikanten Unterschiede zwischen beiden Gruppen in den Untersuchungsparametern. Bedenkt man, dass die MMP eine sehr neue OP-Methode ist, die außerdem mit weniger Equipment und durch einen weniger erfahrenen Operateur durchführbar ist als die TPLO und zudem kostengünstiger ist, so ist es ein sehr zufriedenstellendes Ergebnis, dass diese OP-Methode nahezu gleichwertig der TPLO zu sein scheint, die eine seit Jahrzehnten bewährte und praktizierte OP-Methode darstellt.

6. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Untersuchung wurde das Ergebnis zweier Operationsmethoden zur Versorgung eines vorderen Kreuzbandrisses bei Hunden mit einem Körpergewicht von 20–35 kg vergleichend prospektiv evaluiert. Die „Tibial Plateau Leveling Osteotomy“ (TPLO) wurde mit der „Modified Maquet Procedure“ (MMP) durch eine klinisch-orthopädische Untersuchung, eine radiologische Untersuchung und durch eine laufbandgestützte Ganganalyse jeweils vor der Operation und 6 Wochen, 3 Monate und ≥ 6 Monate nach der Operation verglichen. Die TPLO-Gruppe bestand aus 30 Hunden mit 41 im Rahmen der Studie operierten Kniegelenken und die MMP-Gruppe aus 31 Hunden mit 35 im Rahmen der Studie operierten Kniegelenken. 43 der 76 (56,6 %) Kniegelenke wiesen zum Zeitpunkt der operativen Versorgung eine Meniskusläsion auf.

Bei der klinisch-orthopädischen Untersuchung gab es mit einer Ausnahme (Parameter Gelenkkapselfibrose) für keinen der Untersuchungsparameter zu keinem Kontrollzeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen TPLO- und MMP-Gruppe. Eine Gelenkfibrose bei der Abschlusskontrolle wiesen signifikant mehr Hunde der TPLO-Gruppe (53,3 %) als Hunde der MMP-Gruppe (25,0 %) auf. In beiden Gruppen wurden bei der Abschlusskontrolle mehr als 80,0 % der Hunde subjektiv klinisch als lahmheitsfrei eingestuft, der Rest zeigte ebenfalls eine deutliche Verbesserung der Lahmheit und wies maximal eine deutlich geringgradige Lahmheit auf. Mehr als 90,0 % der Hunde zeigten zu diesem Zeitpunkt laut subjektiver Beurteilung eine normale Belastung der operierten Gliedmaße.

Bei der ganganalytischen Untersuchung wurden die Hunde beider Gruppen mit einer Kontrollgruppe, bestehend aus 16 orthopädisch gesunden Labrador Retrievern, verglichen. Für die Bewertung wurde aus den Werten der gesunden Hunde für die kinetischen Laufbandparameter „Peak vertical force“ (PVF), „Vertical impulse“ (VI) und Standphasendauer (SD) und die kinematischen Parameter („Range of motion“ (ROM) von Hüft-, Knie- und Tarsalgelenk) ein Grenzwert errechnet (Mittelwert abzüglich der doppelten Standardabweichung). Alle Hunde, die oberhalb dieses Grenzwerts lagen, befanden sich im

Referenzbereich. Bei VI und SD gab es zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen beiden Gruppen. Bei PVF lagen bei der 3-Monats-Kontrolle in der TPLO-Gruppe signifikant mehr Hunde innerhalb des Referenzbereichs als in der MMP-Gruppe. Bei den anderen Kontrollen gab es auch bei PVF keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Für die ROM von Hüft-, Knie- und Tarsalgelenk gab es zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied zwischen den beiden Gruppen.

Mittels PVF, VI und den beiden jeweiligen Symmetrie-Indizes wurde bei der Abschlusskontrolle eine Einteilung in lahm/nicht lahm vorgenommen. Es wurden in der TPLO-Gruppe so 46,7 % der Hunde als lahmheitsfrei eingestuft und in der MMP-Gruppe 33,3 % der Hunde. Dieser Unterschied war nicht signifikant. TPLO- und MMP-Gruppe zusammengefasst, ergaben für die subjektive klinische Lahmheitsbeurteilung eine Spezifität von 95 % und eine Sensitivität von 21 %.

Für den Vergleich der vertikalen Spitzenkraft und des vertikalen Impulses wurde außerdem die Effektgrößen- und Mittelwertvergleich durchgeführt. Hier gab es zwischen den Hunden der gesunden Gruppe und den Hunden der TPLO- bzw. MMP-Gruppe zu jedem Zeitpunkt einen großen Effekt bei der PVF und dem VI. Nur bei der Abschlusskontrolle gab es zwischen den Hunden der TPLO-Gruppe und denen der Kontrollgruppe nur einen mittleren Effekt bei der PVF. Auch im Mittelwertvergleich bestand bei beiden Parametern zwischen den Hunden der Kontrollgruppe und denen der TPLO- bzw. MMP-Gruppe zu jedem Zeitpunkt ein signifikanter Unterschied. Bei der Abschlusskontrolle aber gab es zwischen den Hunden der TPLO-Gruppe und denen der Kontrollgruppe beim Parameter PVF keinen signifikanten Unterschied und zwischen den Hunden der MMP-Gruppe und denen der Kontrollgruppe schon. Zwischen den Hunden der TPLO- und der MMP-Gruppe gab es bei der PVF und dem VI zu keinem Zeitpunkt einen signifikanten Unterschied beim Vergleich der Mittelwerte.

Eine durchschnittlich geringe Arthroseprogression war bei allen Kniegelenken unabhängig von der Operationsmethode nachzuweisen. Es gab keinen signifikanten Unterschied zwischen der TPLO- und der MMP-Gruppe.

In Bezug auf die Komplikationen gab es in der MMP-Gruppe mehr Major-Komplikationen als in der TPLO-Gruppe, wobei dieser Unterschied nicht signifikant war. In der TPLO-Gruppe gab es dagegen signifikant mehr Minor-

Komplikationen als in der MMP-Gruppe, wobei dies in 7 von 18 Fällen radiologische Nebenbefunde ohne klinische Relevanz waren. Insgesamt erlitten 40,0 % der Hunde der TPLO-Gruppe und 25,8 % der Hunde der MMP-Gruppe eine oder mehrere Komplikationen (Minor- und Major-Komplikationen), dieser Unterschied war nicht signifikant.

Unter Berücksichtigung der geringeren Kosten, der einfacheren und schnelleren Durchführung und dass im Rahmen dieser Studie keine signifikanten und klinisch relevanten Unterschiede gefunden wurden, stellt die MMP eine interessante Alternative zur etablierten TPLO dar. Die geringen Unterschiede in der Lahmheitsbeurteilung zwischen den beiden Gruppen aber lassen vermuten, dass die Hunde der TPLO-Gruppe ein etwas besseres funktionelles Outcome zeigten als die der MMP-Gruppe. Dies sollte anhand von Langzeitkontrollen mehr als 1 Jahr postoperativ geprüft werden.

7. SUMMARY

In this prospective study two surgical procedures for cranial cruciate ligament repair in dogs with body weight between 20–35 kg were examined. The surgical procedure of “Tibial Plateau Leveling Osteotomy” (TPLO) was compared with the “Modified Maquet Procedure” (MMP) by means of clinical-orthopedic evaluation, radiologic examination and force plate gait analysis. The aforementioned examinations were performed prior to the surgery as well as 6 weeks, 3 months and ≥ 6 months following the surgical procedure. The TPLO group consisted of 30 dogs and included a total of 41 operated stifles during the course of the study. 31 dogs with a total of 35 surgically operated stifles were included into the MMP group. 35 out of 76 (56.6 %) operated stifles showed meniscal lesions at the time of surgery.

Apart from the incidence of capsular fibrosis, no significant difference between the TPLO and the MMP group could be detected for any parameter evaluated during the clinical examinations. During the final examination a capsular fibrosis was diagnosed significantly more often (53.3 % of dogs) in the TPLO group compared to the MMP group (25.0 % of dogs). In both groups more than 80 % of dogs were subjectively classified to be without lameness during their final examination. The remaining dogs showed an obvious amelioration of their lameness as well and their lameness was classified mild at worst. At this time point weight bearing of their operated leg was subjectively normal in more than 90 % of dogs.

For force plate gait analysis dogs in both treatment groups were compared to a control group, composed of 16 orthopedically healthy Labrador Retrievers. A threshold value was calculated for the kinetic and kinematic gait analysis parameters retrieved from the healthy Labrador Retrievers. Namely, these parameters were peak vertical force (PVF), vertical impulse (VI), stance phase duration (SD) and range of motion (ROM) of the hip, stifle and tarsal joints. The threshold value was calculated as the mean minus double the standard deviation. Dogs with values above this threshold were considered to be in the reference range. For the parameters VI and SD as well as for the ROM of hip, stifle and tarsal joint no significant difference could be detected between the groups for any

time point. Concerning the values for PVF no differences between the two groups could be detected except for the examination after 3 months. At this time point a significantly higher percentage of dogs in the TPLO group showed values within the reference range compared to the MMP group.

By means of the parameters PVF, VI and their relative symmetry indices a classification into “lameness” versus “without lameness” was performed at the final examination. Hereby 46.7 % and 33.3 % of dogs in the TPLO and MMP group were classified “without lameness” respectively. The differences in percentages were not significant. Considering both groups together, the subjective clinical evaluation of lameness showed a specificity of 95% and a sensitivity of 21 %.

Additionally effect size comparison and comparison of means were conducted for the parameters PVF and VI. Compared to the group of healthy Labrador Retrievers at any time point and for both groups (TPLO and MMP) a major effect could be detected with regards to the PVF and the VI. Only during the final examination the effect concerning the PVF was moderate between the control group and the TPLO group. Means for both PVF and VI were statistically different among control group and TPLO or MMP group at all examination times except the final examination where no significant difference could be detected between control group and TPLO group for the parameter PVF. Furthermore, for PVF and VI no significant difference between the TPLO group and the MMP group was detected during the comparison of means for any time point.

On average there was a low progression of arthrosis in all stifle joints irrespective of the performed surgical method. There was no significant difference between the TPLO and the MMP group.

Regarding the surgical complications more major complications occurred in the MMP group, but this difference was not significant. Significantly more minor complications occurred in the TPLO group but 7 out of 18 cases of minor complications in the TPLO group were radiologic incidental findings without clinical relevance. Overall 40.0 % of dogs in the TPLO group and 25.8 % of dogs within the MMP group suffered from one or more complication (minor or major). This difference was statistically not significant.

Considering the lower costs as well as the easier and faster performance and given

the fact that within this study no significant clinically relevant difference could be found between the two surgical procedures the MMP presents an interesting alternative to the well-established TPLO. The minor differences observed within the force plate gait analysis may give rise to the assumption that the functional outcome potentially might have been a little better in the TPLO group. However this would need to be proven during an examination after more than one year following the surgery.

8. LITERATURVERZEICHNIS

ACOMED. Äquivalenztest zum Vergleich zweier Mittelwerte. Retrieved 01.12.2016. www.acomed-statistik.de

Adams ME, Muir H (1981). The glycosaminoglycans of canine menisci. *Biochemical Journal*; 197(2): 385-389

Apelt D, Kowaleski MP, Boudrieau RJ (2007). Effect of tibial tuberosity advancement on cranial tibial subluxation in canine cranial cruciate-deficient stifle joints: an in vitro experimental study. *Vet Surg*; 36(2): 170-177

Aragon CL, Budsberg SC (2005). Applications of evidence-based medicine: cranial cruciate ligament injury repair in the dog. *Vet Surg*; 34(2): 93-98

Arcand MA, Rhalmi S, Rivard CH (2000). Quantification of mechanoreceptors in the canine anterior cruciate ligament. *Int Orthop*; 24(5): 272-275

Arnault F, Cauvin E, Viguiet E, Kraft E, Sonet J, Carozzo C (2009). Diagnostic value of ultrasonography to assess stifle lesions in dogs after cranial cruciate ligament rupture: 13 cases. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 22(6): 479-485

Arnoczky SP (1993). Pathomechanics of cruciate ligament and meniscal injuries. In BOJRAB M.J. (ed): *Disease mechanisms in small animal surgery*, 2nd edition. Lea & Febiger, Philadelphia. p. 764

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

Arnoczky SP, Torzilli PA, Marshall JL (1977b). Biomechanical evaluation of anterior cruciate ligament repair in the dog: an analysis of the instant center of motion. *J Am Anim Hosp Assoc*; 13: 553

Arthurs G (2011a). Orthopaedic examination of the dog: 1. Thoracic limb. In *Practice*; 33(3): 126-133

Arthurs G (2011b). Orthopaedic examination of the dog: 2. Pelvic limb. In *Practice*; 33(4): 172-179

Au KK, Gordon-Evans WJ, Dunning D, O'Dell-Anderson KJ, Knap KE, Griffon D, Johnson AL (2010). Comparison of short- and long-term function and radiographic osteoarthritis in dogs after postoperative physical rehabilitation and tibial plateau leveling osteotomy or lateral fabellar suture stabilization. *Vet Surg*; 39(2): 173-180

Baird AE, Carter SD, Innes JF, Ollier W, Short A (2014). Genome-wide association study identifies genomic regions of association for cruciate ligament rupture in Newfoundland dogs. *Anim Genet*; 45(4): 542-549

Baird DK, Hathcock JT, Rumph PF, Kincaid SA, Visco DM (1998). Low-field magnetic resonance imaging of the canine stifle joint: normal anatomy. *Vet Radiol Ultrasound*; 39(2): 87-97

Ballagas AJ, Montgomery RD, Henderson RA, Gillette R (2004). Pre- and postoperative force plate analysis of dogs with experimentally transected cranial cruciate ligaments treated using tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg*; 33(2): 187-190

Bell JC, Ness MG (2007). Does use of a jig influence the precision of tibial plateau leveling osteotomy surgery? *Vet Surg*; 36(3): 228-233

Bennett D, May C (1991). Meniscal damage associated with cruciate disease in the dog. *Journal of Small Animal Practice*; 32(3): 111-117

Bennett D, Tennant D, Lewis DG, Baughan J, May C, Carter SD (1988). A reappraisal of anterior cruciate ligament disease in the dog. *J Small Anim Pract*; 29: 275-297

Berger B. Vergleichende Evaluierung der Therapieergebnisse nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes bei Hunden kleinwüchsiger Rassen nach chirurgischer Versorgung mittels Umstellungsosteotomie (TPLO) oder extrakapsulärer Technik. Dissertation, LMU München, 2014

Berger B, Knebel J, Steigmeier-Raith S, Reese S, Meyer-Lindenberg A (2015). Long-term outcome after surgical treatment of cranial cruciate ligament rupture in small breed dogs. Comparison of tibial plateau leveling osteotomy and extra-articular stifle stabilization. *Tierärztl Prax*; 43(6): 373-380

Bergh MS, Peirone B (2012). Complications of tibial plateau levelling osteotomy in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 25(5): 349-358

Bergh MS, Rajala-Schultz P, Johnson KA (2008). Risk factors for tibial tuberosity fracture after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. *Vet Surg*; 37(4): 374-382

Bessette GC, Hunter RE (1988). The Maquet procedure. A retrospective review. *Clin Orthop Relat Res*(232): 159-167

Bland M (2000). An introduction to medical statistics. 3rd edition. Oxford University Press, Oxford OX2 6DP, United Kingdom.

Blond L, Thrall DE, Roe SC, Chailleux N, Robertson ID (2008). 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

Bobyn JD, Pilliar RM, Cameron HU, Weatherly GC (1980a). The optimum pore size for the fixation of porous-surfaced metal implants by the ingrowth of bone. *Clin Orthop Relat Res*(150): 263-270

Bobyn JD, Pilliar RM, Cameron HU, Weatherly GC, Kent GM (1980b). The effect of porous surface configuration on the tensile strength of fixation of implants by bone ingrowth. *Clin Orthop Relat Res*(149): 291-298

Böddeker J, Druen S, Meyer-Lindenberg A, Fehr M, Nolte I, Wefstaedt P (2012). Computer-assisted gait analysis of the dog: comparison of two surgical techniques for the ruptured cranial cruciate ligament. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 25(1): 11-21

Bonath KH, Prieur WD (1998). Kleintierkrankheiten. Band 3: Orthopädische Chirurgie und Traumatologie. 1st edition. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, Deutschland.

Böttcher P, Armbrust L, Blond L, Brühshwein A, Gavin PR, Gielen I, Hecht S, Jurina K, Kneissl S, Konar M, Pujol E, Robinson A, Schaefer SL, Theyse LF, Wigger A, Ludewig E (2012). Effects of observer on the diagnostic accuracy of low-field MRI for detecting canine meniscal tears. *Vet Radiol Ultrasound*; 53(6): 628-635

Böttcher P, Winkels P, Oechtering G (2009). A novel pin distraction device for arthroscopic assessment of the medial meniscus in dogs. *Vet Surg*; 38(5): 595-600

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

Boyd DJ, Miller CW, Etue SM, Monteith G (2007). Radiographic and functional evaluation of dogs at least 1 year after tibial plateau leveling osteotomy. *Can Vet J*; 48(4): 392-396

Brandstätter E (1999). Konfidenzintervalle als Alternative zu Signifikanztests. *Methods of Psychological Research Online*; 4(2): 1-17

Brunnberg L (1990). Klinische Untersuchungen zu Ätiologie und Pathogenese der Ruptur des Ligamentum cruciatum caudale beim Hund. 3. Mitteilung: Eigene Untersuchungen. *Kleintierpraxis*; 35(8): 377-389

Budsberg SC, Jevens DJ, Brown J, Foutz TL, DeCamp CE, Reece L (1993). Evaluation of limb symmetry indices, using ground reaction forces in healthy dogs. *Am J Vet Res*; 54(10): 1569-1574

Budsberg SC, Verstraete MC, Brown J, Reece L (1995). Vertical loading rates in clinically normal dogs at a trot. *Am J Vet Res*; 56(10): 1275-1280

Budsberg SC, Verstraete MC, Soutas-Little RW (1987). Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs. *Am J Vet Res*; 48(6): 915-918

Budsberg SC, Verstraete MC, Soutas-Little RW, Flo GL, Probst CW (1988). Force plate analyses before and after stabilization of canine stifles for cruciate injury. *Am J Vet Res*; 49(9): 1522-1524

Buote N, Fusco J, Radasch R (2009). Age, tibial plateau angle, sex, and weight as risk factors for contralateral rupture of the cranial cruciate ligament in Labradors. *Vet Surg*; 38(4): 481-489

Bush MA, Bowlt K, Gines JA, Owen MR (2011). Effect of use of different landmark methods on determining stifle angle and on calculated tibial tuberosity advancement. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(3): 205-210

Cabrera SY, Owen TJ, Mueller MG, Kass PH (2008). Comparison of tibial plateau angles in dogs with unilateral versus bilateral cranial cruciate ligament rupture: 150 cases (2000-2006). *J Am Vet Med Assoc*; 232(6): 889-892

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

Carey K, Aiken SW, DiResta GR, Herr LG, Monette S (2005). Radiographic and clinical changes of the patellar tendon after tibial plateau leveling osteotomy 94 cases (2000-2003). *Vet Comp Orthop Traumatol*; 18(4): 235-242

Carobbi B, Ness MG (2009). Preliminary study evaluating tests used to diagnose canine cranial cruciate ligament failure. *J Small Anim Pract*; 50(5): 224-226

Casale SA, McCarthy RJ (2009). Complications associated with lateral fabellotibial suture surgery for cranial cruciate ligament injury in dogs: 363 cases (1997-2005). *J Am Vet Med Assoc*; 234(2): 229-235

Case JB, Hulse D, Kerwin SC, Peycke LE (2008). Meniscal injury following initial cranial cruciate ligament stabilization surgery in 26 dogs (29 stifles). *Vet Comp Orthop Traumatol*; 21(4): 365-367

Christopher SA, Beetem J, Cook JL (2013). Comparison of long-term outcomes associated with three surgical techniques for treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs. *Vet Surg*; 42(3): 329-334

Clark JM, Sidles JA (1990). The interrelation of fiber bundles in the anterior cruciate ligament. *J Orthop Res*; 8(2): 180-188

Clements DN, Kennedy LJ, Short AD, Barnes A, Ferguson J, Ollier WE (2011). Risk of canine cranial cruciate ligament rupture is not associated with the major histocompatibility complex. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(4): 262-265

Cohen J (1998). *Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences*. 2nd edition. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah, NJ 07430, United States.

Colborne GR, Walker AM, Tattersall AJ, Fuller CJ (2006). Effect of trotting velocity on work patterns of the hind limbs of Greyhounds. *Am J Vet Res*; 67(8): 1293-1298

Comerford E, Forster K, Gorton K, Maddox T (2013). Management of cranial cruciate ligament rupture in small dogs: a questionnaire study. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 26(6): 493-497

Comerford EJ, Smith K, Hayashi K (2011). Update on the aetiopathogenesis of canine cranial cruciate ligament disease. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(2): 91-98

Comerford EJ, Tarlton JF, Avery NC, Bailey AJ, Innes JF (2006). Distal femoral intercondylar notch dimensions and their relationship to composition and metabolism of the canine anterior cruciate ligament. *Osteoarthritis Cartilage*; 14(3): 273-278

Conkling AL, Fagin B, Daye RM (2010). Comparison of tibial plateau angle changes after tibial plateau leveling osteotomy fixation with conventional or locking screw technology. *Vet Surg*; 39(4): 475-481

Conzemius MG, Evans RB (2012). Caregiver placebo effect for dogs with lameness from osteoarthritis. *J Am Vet Med Assoc*; 241(10): 1314-1319

Conzemius MG, Evans RB, Besancon MF, Gordon WJ, Horstman CL, Hoefle WD, Nieves MA, Wagner SD (2005). Effect of surgical technique on limb function after surgery for rupture of the cranial cruciate ligament in dogs. *J Am Vet Med Assoc*; 226(2): 232-236

Cook JL, Luther JK, Beetem J, Karnes J, Cook CR (2010b). Clinical comparison of a novel extracapsular stabilization procedure and tibial plateau leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament deficiency in dogs. *Vet Surg*; 39(3): 315-323

Corr S (2009). Decision making in the management cruciate disease in dogs. *In Practice*; 31(4): 164-171

Corr SA, Brown C (2007). A comparison of outcomes following tibial plateau levelling osteotomy and cranial tibial wedge osteotomy procedures. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 20(4): 312-319

de Medeiros M, Sanchez Bustinduy M, Radke H, Langley-Hobbs S, Jeffery N (2011). Early kinematic outcome after treatment of cranial cruciate ligament rupture by tibial plateau levelling osteotomy in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(3): 178-184

de Rooster H, van Bree H (1999). Radiographic measurement of craniocaudal instability in stifle joints of clinically normal dogs and dogs with injury of a cranial cruciate ligament. *Am J Vet Res*; 60(12): 1567-1570

de Rooster H, Van Ryssen B, van Bree H (1998). Diagnosis of cranial cruciate ligament injury in dogs by tibial compression radiography. *Vet Rec*; 142(14): 366-368

DeAngelis M, Lau RE (1970). A lateral retinacular imbrication technique for the surgical correction of anterior cruciate ligament rupture in the dog. *J Am Vet Med Assoc*; 157(1): 79-84

DeCamp CE (1997). Kinetic and kinematic gait analysis and the assessment of lameness in the dog. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*; 27(4): 825-840

DeCamp CE, Soutas-Little RW, Hauptman J, Olivier B, Braden T, Walton A (1993). Kinematic gait analysis of the trot in healthy greyhounds. *Am J Vet Res*; 54(4): 627-634

Dennler R, Kipfer NM, Tepic S, Hassig M, Montavon PM (2006). 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

DeSandre-Robinson DM, Tano CA, Fiore KL, Prytherch B (2017). Radiographic evaluation and comparison of the patellar ligament following tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement in dogs: 106 cases (2009-2012). *J Am Vet Med Assoc*; 250(1): 68-74

Doverspike M, Vasseur PB, Harb MF, Walls CM (1993). Contralateral cranial cruciate ligament rupture: incidence in 114 dogs. *J Am Anim Hosp Assoc*; 29: 167-170

Draganich LF, Vahey JW (1990). An in vitro study of anterior cruciate ligament strain induced by quadriceps and hamstrings forces. *J Orthop Res*; 8(1): 57-63

Duerr FM, Duncan CG, Savicky RS, Park RD, Egger EL, Palmer RH (2007). Risk factors for excessive tibial plateau angle in large-breed dogs with cranial cruciate ligament disease. *J Am Vet Med Assoc*; 231(11): 1688-1691

Duerr FM, Duncan CG, Savicky RS, Park RD, Egger EL, Palmer RH (2008). Comparison of surgical treatment options for cranial cruciate ligament disease in large-breed dogs with excessive tibial plateau angle. *Vet Surg*; 37(1): 49-62

Dymond NL, Goldsmid SE, Simpson DJ (2010). Tibial tuberosity advancement in 92 canine stifles: initial results, clinical outcome and owner evaluation. *Aust Vet J*; 88(10): 381-385

Ertelt J, Fehr M (2009). Cranial cruciate ligament repair in dogs with and without meniscal lesions treated by different minimally invasive methods. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 22(1): 21-26

Etchepareborde S, Barthelemy N, Mills J, Pascon F, Ragetly GR, Balligand M (2010). Mechanical testing of a modified stabilisation method for tibial tuberosity advancement. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 23(6): 400-405

Etchepareborde S, Brunel L, Bollen G, Balligand M (2011a). Preliminary experience of a modified Maquet technique for repair of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(3): 223-227

Etchepareborde S, Mills J, Busoni V, Brunel L, Balligand M (2011b). Theoretical discrepancy between cage size and efficient tibial tuberosity advancement in dogs treated for cranial cruciate ligament rupture. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(1): 27-31

Eugster S, Schawalder P, Gaschen F, Boerlin P (2004). A prospective study of postoperative surgical site infections in dogs and cats. *Vet Surg*; 33(5): 542-550

Evans R, Gordon W, Conzemius M (2003). Effect of velocity on ground reaction forces in dogs with lameness attributable to tearing of the cranial cruciate ligament. *Am J Vet Res*; 64(12): 1479-1481

Evans R, Horstman C, Conzemius M (2005). Accuracy and optimization of force platform gait analysis in Labradors with cranial cruciate disease evaluated at a walking gait. *Vet Surg*; 34(5): 445-449

Fernandez-Fairen M, Querales V, Jakowlew A, Murcia A, Ballester J (2010). Tantalum is a good bone graft substitute in tibial tubercle advancement. *Clin Orthop Relat Res*; 468(5): 1284-1295

Ferreira MP, Ferrigno CR, de Souza AN, Caquias DF, de Figueiredo AV (2016). Short-term comparison of tibial tuberosity advancement and tibial plateau levelling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament disease using kinetic analysis. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 29(3): 209-213

Fitzpatrick N, Solano MA (2010). Predictive variables for complications after TPLO with stifle inspection by arthrotomy in 1000 consecutive dogs. *Vet Surg*; 39(4): 460-474

Fossum TW (2009). *Chirurgie der Kleintiere*. 2nd edition. Elsevier Urban&Fischer Verlag, München, Deutschland.

Frey TN, Hoelzler MG, Scavelli TD, Fulcher RP, Bastian RP (2010). Risk factors for surgical site infection-inflammation in dogs undergoing surgery for rupture of the cranial cruciate ligament: 902 cases (2005-2006). *J Am Vet Med Assoc*; 236(1): 88-94

Gatineau M, Dupuis J, Plante J, Moreau M (2011). Retrospective study of 476 tibial plateau levelling osteotomy procedures. Rate of subsequent 'pivot shift', meniscal tear and other complications. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(5): 333-341

Gemmill TJ, Farrell M (2009). Evaluation of a joint distractor to facilitate arthroscopy of the canine stifle. *Vet Surg*; 38(5): 588-594

Gibbons SE, Macias C, Tonzing MA, Pinchbeck GL, McKee WM (2006). Patellar luxation in 70 large breed dogs. *J Small Anim Pract*; 47(1): 3-9

Gillette RL, Angle TC (2008). Recent developments in canine locomotor analysis: a review. *Vet J*; 178(2): 165-176

Gordon-Evans WJ, Griffon DJ, Bubb C, Knap KM, Sullivan M, Evans RB (2013). Comparison of lateral fabellar suture and tibial plateau leveling osteotomy techniques for treatment of dogs with cranial cruciate ligament disease. *J Am Vet Med Assoc*; 243(5): 675-680

Gordon WJ, Conzemius MG, Riedesel E, Besancon MF, Evans R, Wilke V, Ritter MJ (2003). The relationship between limb function and radiographic osteoarthritis in dogs with stifle osteoarthritis. *Vet Surg*; 32(5): 451-454

Grierson J, Asher L, Grainger K (2011). An investigation into risk factors for bilateral canine cruciate ligament rupture. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 24(3): 192-196

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

Gyger O, Botteron C, Doherr M, Zurbriggen A, Schawalder P, Spreng D (2007). Detection and distribution of apoptotic cell death in normal and diseased canine cranial cruciate ligaments. *Vet J*; 174(2): 371-377

Harasen G (2004a). Tibial plateau leveling osteotomy--part I. *Can Vet J*; 45(6): 527-528

Harasen G (2004b). Tibial plateau leveling osteotomy--part 2. *Can Vet J*; 45(8): 689-690

Harasen G (2008). Canine cranial cruciate ligament rupture in profile: 2002-2007. *Can Vet J*; 49(2): 193-194

Hatze H (1974). Letter: The meaning of the term "biomechanics". *J Biomech*; 7(2): 189-190

Hayashi K, Frank JD, Dubinsky C, Zhengling H, Markel MD, Manley PA, Muir P (2003a). Histologic changes in ruptured canine cranial cruciate ligament. *Vet Surg*; 32(3): 269-277

Hayashi K, Frank JD, Hao Z, Schamberger GM, Markel MD, Manley PA, Muir P (2003b). Evaluation of ligament fibroblast viability in ruptured cranial cruciate ligament of dogs. *Am J Vet Res*; 64(8): 1010-1016

Hayes GM, Langley-Hobbs SJ, Jeffery ND (2010). Risk factors for medial meniscal injury in association with cranial cruciate ligament rupture. *J Small Anim Pract*; 51(12): 630-634

Heffron LE, Campbell JR (1978). Morphology, histology and functional anatomy of the canine cranial cruciate ligament. *Vet Rec*; 102(13): 280-283

Heldmann E, Brown DC, Shofer F (1999). The association of propofol usage with postoperative wound infection rate in clean wounds: a retrospective study. *Vet Surg*; 28(4): 256-259

Hielm-Björkman AK. Assessment of chronic pain and evaluation of three complementary therapies (gold implants, green lipped mussel and a homeopathic combination preparation) for canine osteoarthritis, using randomized, controlled, double-blind study designs. *Diss. vet. med., Helsinki, 2007*

Hirshenson MS, Krotscheck U, Thompson MS, Knapp-Hoch HM, Jay-Silva AR, McConkey M, Bliss SP, Todhunter R, Mohammed HO (2012). Evaluation of complications and short-term outcome after unilateral or single-session bilateral tibial tuberosity advancement for cranial cruciate rupture in dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 25(5): 402-409

Hoffmann DE, Miller JM, Ober CP, Lanz OI, Martin RA, Shires PK (2006). Tibial tuberosity advancement in 65 canine stifles. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 19(4): 219-227

Horstman CL, Conzemius MG, Evans R, Gordon WJ (2004). Assessing the efficacy of perioperative oral carprofen after cranial cruciate surgery using noninvasive, objective pressure platform gait analysis. *Vet Surg*; 33(3): 286-292

Hulse D, Beale B, Kerwin S (2010). Second look arthroscopic findings after tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg*; 39(3): 350-354

Hulse D, Johnson S (1988). Isolated lateral meniscal tear in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol*. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 3: 152-154

Hurley CR, Hammer DL, Shott S (2007). Progression of radiographic evidence of osteoarthritis following tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament rupture: 295 cases (2001-2005). *J Am Vet Med Assoc*; 230(11): 1674-1679

Inauen R, Koch D, Bass M, Haessig M (2009). Tibial tuberosity conformation as a risk factor for cranial cruciate ligament rupture in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 22(1): 16-20

Innes JF, Costello M, Barr FJ, Rudolf H, Barr AR (2004). Radiographic progression of osteoarthritis of the canine stifle joint: a prospective study. *Vet Radiol Ultrasound*; 45(2): 143-148

Jackson J, Vasseur PB, Griffey S, Walls CM, Kass PH (2001). Pathologic changes in grossly normal menisci in dogs with rupture of the cranial cruciate ligament. *J Am Vet Med Assoc*; 218(8): 1281-1284

Jerram RM, Walker AM (2003). Cranial cruciate ligament injury in the dog: pathophysiology, diagnosis and treatment. *N Z Vet J*; 51(4): 149-158

Johnson JA, Austin C, Breur GJ (1994). Incidence of Canine Appendicular Musculoskeletal Disorders in 16 Veterinary Teaching Hospitals from 1980 through 1989. *Vet Comp Orthop Traumatol*(7): 56-69

Johnson JM, Johnson AL (1993). Cranial cruciate ligament rupture. Pathogenesis, diagnosis, and postoperative rehabilitation. *Vet Clin North Am Small Anim Pract*; 23(4): 717-733

Kanno N, Amimoto H, Hara Y, Harada Y, Nezu Y, Yogo T, Tagawa M (2012). In vitro evaluation of the relationship between the semitendinosus muscle and cranial cruciate ligament in canine cadavers. *Am J Vet Res*; 73(5): 672-680

Kapler MW, Marcellin-Little DJ, Roe SC (2015). Planned wedge size compared to achieved advancement in dogs undergoing the modified Maquet procedure. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 28(6): 379-384

Kergosien DH, Barnhart MD, Kees CE, Danielson BG, Brouman JD, DeHoff WD, Schertel ER (2004). Radiographic and clinical changes of the tibial tuberosity after tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg*; 33(5): 468-474

Kim SE, Lewis DD, Pozzi A (2012). Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial subluxation: in vivo analysis during standing. *Vet Surg*; 41(4): 465-470

Kim SE, Lewis DD, Pozzi A, Seibert RL, Winter MD (2011). Radiographic quantitative assessment of cranial tibial subluxation before and after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. *Am J Vet Res*; 72(3): 410-416

Kim SE, Pozzi A, Banks SA, Conrad BP, Lewis DD (2009a). Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial contact mechanics and stifle kinematics. *Vet Surg*; 38(1): 23-32

Kim SE, Pozzi A, Banks SA, Conrad BP, Lewis DD (2009b). Effect of tibial tuberosity advancement on femorotibial contact mechanics and stifle kinematics. *Vet Surg*; 38(1): 33-39

Kim SE, Pozzi A, Banks SA, Conrad BP, Lewis DD (2010). Effect of cranial cruciate ligament deficiency, tibial plateau leveling osteotomy, and tibial tuberosity advancement on contact mechanics and alignment of the stifle in flexion. *Vet Surg*; 39(3): 363-370

Kim SE, Pozzi A, Kowaleski MP, Lewis DD (2008). Tibial osteotomies for cranial cruciate ligament insufficiency in dogs. *Vet Surg*; 37(2): 111-125

Knebel J, Meyer-Lindenberg A (2014). Aetiology, pathogenesis, diagnostics and therapy of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *Tierärztl Prax*; 42(1): 36-47

König HE, Liebich HG (2015). Anatomie der Haussäugetiere. 6th edition. Schattauer Verlag, Stuttgart, Deutschland.

Kramer M, Stengel H, Gerwing M, Schimke E, Sheppard C (1999). Sonography of the canine stifle. *Vet Radiol Ultrasound*; 40(3): 282-293

Krause WR, Pope MH, Johnson RJ, Wilder DG (1976). Mechanical changes in the knee after meniscectomy. *J Bone Joint Surg Am*; 58(5): 599-604

Krayer M, Rytz U, Oevermann A, Doherr MG, Forterre F, Zurbriggen A, Spreng DE (2008). Apoptosis of ligamentous cells of the cranial cruciate ligament from stable stifle joints of dogs with partial cranial cruciate ligament rupture. *Am J Vet Res*; 69(5): 625-630

Krotscheck U, Nelson SA, Todhunter RJ, Stone M, Zhang Z (2016). Long Term Functional Outcome of Tibial Tuberosity Advancement vs. Tibial Plateau Leveling Osteotomy and Extracapsular Repair in a Heterogeneous Population of Dogs. *Vet Surg*; 45(2): 261-268

Lafaver S, Miller NA, Stubbs WP, Taylor RA, Boudrieau RJ (2007). 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

Larché WD. Der Einfluss mechanischer und funktioneller Faktoren auf das Angehend es Hunden. Diss. med. vet., Gießen, 1962

Layer AF. Ganganalytische Untersuchung der Rückenbewegung von gesunden Hunden der Rassen Dackel und Labrador Retriever. Diss. med. vet., München, 2012

Lazar TP, Berry CR, deHaan JJ, Peck JN, Correa M (2005). Long-term radiographic comparison of tibial plateau leveling osteotomy versus extracapsular stabilization for cranial cruciate ligament rupture in the dog. *Vet Surg*; 34(2): 133-141

Leach D (1993). Recommended terminology for researchers in locomotion and biomechanics of quadrupedal animals. *Acta Anat (Basel)*; 146(2-3): 130-136

Leach D, Sumner-Smith G, Dagg AI (1977). Diagnosis of lameness in dogs: a preliminary study. *Can Vet J*; 18(3): 58-63

Lee JY, Kim G, Kim JH, Choi SH (2007). Kinematic gait analysis of the hind limb after tibial plateau levelling osteotomy and cranial tibial wedge osteotomy in ten dogs. *J Vet Med A Physiol Pathol Clin Med*; 54(10): 579-584

Libicher M, Ivancic M, Hoffmann M, Wenz W (2005). Early changes in experimental osteoarthritis using the Pond-Nuki dog model: technical procedure and initial results of in vivo MR imaging. *Eur Radiol*; 15(2): 390-394

MacDonald TL, Allen DA, Monteith GJ (2013). Clinical assessment following tibial tuberosity advancement in 28 stifles at 6 months and 1 year after surgery. *Can Vet J*; 54(3): 249-254

Mager FW. Zur Kniegelenksarthrose des Hundes nach vorderer Kreuzbandruptur - ein retrospektiver Vergleich dreier Operationsmethoden. *Diss. med. vet.*, München, 2000

Mahn MM, Cook JL, Cook CR, Balke MT (2005). Arthroscopic verification of ultrasonographic diagnosis of meniscal pathology in dogs. *Vet Surg*; 34(4): 318-323

Martig S, Konar M, Schmökel HG, Rytz U, Spreng D, Scheidegger J, Hohl B, Kircher PR, Boisclair J, Lang J (2006). Low-field Mri and arthroscopy of meniscal lesions in ten dogs with experimentally induced cranial cruciate ligament insufficiency. *Vet Radiol Ultrasound*; 47(6): 515-522

Messmer M, Schmökel H, Schawalder P (2001). Intraarticular measurement of forces acting on the canine medial meniscus during motion. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 14(3): 133-138

Metelman LA, Schwarz PD, Salman M, Alvis MR (1995). An evaluation of three different cranial cruciate ligament surgical stabilization procedures as they relate to postoperative meniscal injuries. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 8(2): 118-123

Millet M, Bismuth C, Labrunie A, Marin B, Filleur A, Pillard P, Sonet J, Cachon T, Etchepareborde S (2013). Measurement of the patellar tendon-tibial plateau angle and tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate ligament rupture. Reliability of the common tangent and tibial plateau methods of measurement. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 26(6): 469-478

Miyatsu M, Atsuta Y, Watakabe M (1993). The physiology of mechanoreceptors in the anterior cruciate ligament. An experimental study in decerebrate-spinalised animals. *J Bone Joint Surg Br*; 75(4): 653-657

Moeller EM, Allen DA, Wilson ER, Lineberger JA, Lehenbauer T (2010). Long-term outcomes of thigh circumference, stifle range-of-motion, and lameness after unilateral tibial plateau levelling osteotomy. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 23(1): 37-42

Moles A, Glyde M (2009). Anatomical investigation of the canine cranial tibial artery. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 22(5): 351-355

Monahan JJ, Grigg P, Pappas AM, Leclair WJ, Marks T, Fowler DP, Sullivan TJ (1984). In vivo strain patterns in the four major canine knee ligaments. *J Orthop Res*; 2(4): 408-418

Montavon PM, Damur DM, Tepic S (2002). Advancement of the tibial tuberosity for the treatment of cranial cruciate deficient canine stifle. Proceedings of the 1st World Orthopedic Veterinary Congress, Munich, Germany, September 5th – 8th (Abstract): 152

Montavon PM, Damur DM, Tepic S (2004). Tibial tuberosity advancement (TTA) for the treatment of cranial cruciate disease in dogs: evidences, technique and initial clinical results. Proceedings of the 12th ESVOT Congress, Munich, Germany, September 10th – 12th (Abstract): 254-255

Morgan JP, Voss K, Damur DM, Guerrero T, Haessig M, Montavon PM (2010). Correlation of radiographic changes after tibial tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate-deficient stifles with functional outcome. *Vet Surg*; 39(4): 425-432

Morris E, Lipowitz AJ (2001). Comparison of tibial plateau angles in dogs with and without cranial cruciate ligament injuries. *J Am Vet Med Assoc*; 218(3): 363-366

Muir P, Hayashi K, Manley PA, Colopy SA, Hao Z (2002). Evaluation of tartrate-resistant acid phosphatase and cathepsin K in ruptured cranial cruciate ligaments in dogs. *Am J Vet Res*; 63(9): 1279-1284

Muir P, Schamberger GM, Manley PA, Hao Z (2005). Localization of cathepsin K and tartrate-resistant acid phosphatase in synovium and cranial cruciate ligament in dogs with cruciate disease. *Vet Surg*; 34(3): 239-246

Müller S, Kramer M (2003). Die Eignung der Sonographie für die Diagnostik von Meniskusläsionen beim Hund*. *Tierärztliche Praxis Kleintiere*; 31(1): 10-15

Nayseh K, Kramer M, Ondreka N (2015). Die sonographische Untersuchung des Kniegelenks beim Hund. Teil 1: Anatomische Grundlagen, Untersuchungsgang und häufige Indikationen. *Tierärztliche Praxis Kleintiere*; 43(2): 120-129

Nelson SA, Krotscheck U, Rawlinson J, Todhunter RJ, Zhang Z, Mohammed H (2013). Long-term functional outcome of tibial plateau leveling osteotomy versus extracapsular repair in a heterogeneous population of dogs. *Vet Surg*; 42(1): 38-50

Ness MG (2011). OrthoFoam MMP Wedge. For Canine Cruciate Disease. User Guide (Version V1.1). Orthomed: Available from: www.orthomed.co.uk

Ness MG (2014). OrthoFoam MMP Wedge. For Canine Cruciate Disease. User Guide (Version V1.2). Orthomed: Available from: www.orthomed.co.uk

Ness MG (2016). The Modified Maquet Procedure (MMP) in Dogs: Technical Development and Initial Clinical Experience. *J Am Anim Hosp Assoc*; 52(4): 242-250

New Generation Devices. Rotation Calculations Intended to leave 5° of Tibial Slope. Retrieved 01.07.2012. www.newgenerationdevices.com

Nickel R, Schummer A, Seiferle E (2004). Lehrbuch der Anatomie der Haussäugetiere, Band I Bewegungsapparat. 8th edition. Parey Verlag, Stuttgart, Deutschland.

Nickel R, Schummer A, Seiferle E (2005). Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band III Kreislaufsystem, Haut und Hautorgane. 4th edition. Parey Verlag, Stuttgart, Deutschland.

Nisell R (1985). Mechanics of the knee. A study of joint and muscle load with clinical applications. *Acta Orthop Scand Suppl*; 216: 1-42

Ochsner PE (2011). Osteointegration of orthopaedic devices. *Semin Immunopathol*; 33(3): 245-256

Off W, Matis U (1997a). Ganganalyse beim Hund. Teil 1: Dynamometrische und kinemetrische Messverfahren und ihre Anwendung beim Tetrapoden. Tierärztl Prax; 25(1): 8-14

Off W, Matis U (1997b). Ganganalyse beim Hund. Teil 2: Aufbau eines Ganglabors und bewegungsanalytische Untersuchungen. Tierärztl Prax; 25(4): 303-311

Olive J, d'Anjou MA, Cabassu J, Chailleux N, Blond L (2014). Fast presurgical magnetic resonance imaging of meniscal tears and concurrent subchondral bone marrow lesions. Study of dogs with naturally occurring cranial cruciate ligament rupture. Vet Comp Orthop Traumatol; 27(1): 1-7

Oxley B, Gemmill TJ, Renwick AR, Clements DN, McKee WM (2013). Comparison of complication rates and clinical outcome between tibial plateau leveling osteotomy and a modified cranial closing wedge osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament disease in dogs. Vet Surg; 42(6): 739-750

Pachiana PD, Morris E, Gillings SL, Jessen CR, Lipowitz AJ (2003). 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

Plesman R, Gilbert P, Campbell J (2013). Detection of meniscal tears by arthroscopy and arthrotomy in dogs with cranial cruciate ligament rupture: a retrospective, cohort study. Vet Comp Orthop Traumatol; 26(1): 42-46

Pohler OE (2000). Unalloyed titanium for implants in bone surgery. Injury; 31 Suppl 4: 7-13

Pozzi A, Hildreth BE, 3rd, Rajala-Schultz PJ (2008a). Comparison of arthroscopy and arthrotomy for diagnosis of medial meniscal pathology: an ex vivo study. Vet Surg; 37(8): 749-755

Pozzi A, Kowaleski MP, Apelt D, Meadows C, Andrews CM, Johnson KA (2006). Effect of medial meniscal release on tibial translation after tibial plateau leveling osteotomy. Vet Surg; 35(5): 486-494

Pozzi A, Litsky AS, Field J, Apelt D, Meadows C, Johnson KA (2008b). Pressure distributions on the medial tibial plateau after medial meniscal surgery and tibial plateau levelling osteotomy in dogs. Vet Comp Orthop Traumatol; 21(1): 8-14

Priddy NH, 2nd, Tomlinson JL, Dodam JR, Hornbostel JE (2003). 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

Proot JL, Corr SA (2013). Clinical audit for the tibial tuberosity advancement procedure: establishing the learning curve and monitoring ongoing performance for the tibial tuberosity advancement procedure using the cumulative summation technique. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 26(4): 280-284

Quinn MM, Keuler NS, Lu Y, Faria ML, Muir P, Markel MD (2007). Evaluation of agreement between numerical rating scales, visual analogue scoring scales, and force plate gait analysis in dogs. *Vet Surg*; 36(4): 360-367

Raith AK. Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes - Eine Reevaluierung. Diss. med. vet., München, 2010

Ralphs SC, Whitney WO (2002). Arthroscopic evaluation of menisci in dogs with cranial cruciate ligament injuries: 100 cases (1999-2000). *J Am Vet Med Assoc*; 221(11): 1601-1604

Ramirez J, Barthelemy N, Noel S, Claeys S, Etchepareborde S, Farnir F, Balligand M (2015). Complications and outcome of a new modified Maquet technique for treatment of cranial cruciate ligament rupture in 82 dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 28(5): 339-346

Rayward RM, Thomson DG, Davies JV, Innes JF, Whitelock RG (2004). Progression of osteoarthritis following TPLO surgery: a prospective radiographic study of 40 dogs. *J Small Anim Pract*; 45(2): 92-97

Reif U, Hulse DA, Hauptman JG (2002). Effect of tibial plateau leveling on stability of the canine cranial cruciate-deficient stifle joint: an in vitro study. *Vet Surg*; 31(2): 147-154

Ridge PA (2006). Isolated medial meniscal tear in a Border Collie. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 19(2): 110-112

Robinson DA, Mason DR, Evans R, Conzemius MG (2006). The effect of tibial plateau angle on ground reaction forces 4-17 months after tibial plateau leveling osteotomy in Labrador Retrievers. *Vet Surg*; 35(3): 294-299

Robinson RO, Herzog W, Nigg BM (1987). Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther*; 10(4): 172-176

Roush JK, Cross AR, Renberg WC, Dodd CE, Sixby KA, Fritsch DA, Allen TA, Jewell DE, Richardson DC, Leventhal PS, Hahn KA (2010). Evaluation of the effects of dietary supplementation with fish oil omega-3 fatty acids on weight bearing in dogs with osteoarthritis. *J Am Vet Med Assoc*; 236(1): 67-73

Roy WE (1971). Examination of the canine locomotor system. *Vet Clin North Am*; 1(1): 53-70

Rumph PF, Lander JE, Kincaid SA, Baird DK, Kammermann JR, Visco DM (1994). Ground reaction force profiles from force platform gait analyses of clinically normal mesomorphic dogs at the trot. *Am J Vet Res*; 55(6): 756-761

Ryan G, Pandit A, Apatsidis DP (2006). Fabrication methods of porous metals for use in orthopaedic applications. *Biomaterials*; 27(13): 2651-2670

Scavelli TD, Schrader SC, Matthiesen DT, Skorup DE (1990). Partial rupture of the cranial cruciate ligament of the stifle in dogs: 25 cases (1982-1988). *J Am Vet Med Assoc*; 196(7): 1135-1138

Schnappauf A, Gerwing M, Köhler S, Seyrek-Intas D, Kramer M (2007). Die Ultraschalldiagnostik von Kreuzbandrupturen beim Hund. *Tierärztliche Praxis Kleintiere*; 35(5): 359-365

Schwandt CS, Bohorquez-Vanelli A, Tepic S, Hassig M, Dennler R, Vezzoni A, Montavon PM (2006). Angle between the patellar ligament and tibial plateau in dogs with partial rupture of the cranial cruciate ligament. *Am J Vet Res*; 67(11): 1855-1860

Seiferle E, Frewein J (2004). Statik und Dynamik des Bewegungsapparates. In: Nickel, Schummer, Seiferle: *Lehrbuch der Anatomie der Haustiere, Band I: Bewegungsapparat*. 8. unveränderte Auflage. Parey, Stuttgart. p. 556-585

Selmi AL, Padilha Filho JG (2001). Rupture of the cranial cruciate ligament associated with deformity of the proximal tibia in five dogs. *J Small Anim Pract*; 42(8): 390-393

Senckenberg C. Die Auswirkungen der subklinischen Ellbogendysplasie auf das Gangbild des Labrador Retrievers. *Diss. med. vet., München*, 2016

Shahar R, Banks-Sills L (2002). Biomechanical analysis of the canine hind limb: calculation of forces during three-legged stance. *Vet J*; 163(3): 240-250

Shahar R, Banks-Sills L (2004). A quasi-static three-dimensional, mathematical, three-body segment model of the canine knee. *J Biomech*; 37(12): 1849-1859

Shahar R, Milgram J (2001). Morphometric and anatomic study of the hind limb of a dog. *Am J Vet Res*; 62(6): 928-933

Shahar R, Milgram J (2006). Biomechanics of tibial plateau leveling of the canine cruciate-deficient stifle joint: a theoretical model. *Vet Surg*; 35(2): 144-149

Slocum B, Devine Slocum T (1993). 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

Slocum B, Devine Slocum T (1998). Tibial plateau leveling osteotomy for cranial cruciate ligament rupture. In: BOJRAB M. J. (ed): *Current techniques in small animal surgery*, 4th edition. Williams&Wilkins, Baltimore. p. 1209-15

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

Solomonow M, Baratta R, Zhou BH, Shoji H, Bose W, Beck C, D'Ambrosia R (1987). The synergistic action of the anterior cruciate ligament and thigh muscles in maintaining joint stability. *Am J Sports Med*; 15(3): 207-213

Stauffer KD, Tuttle TA, Elkins AD, Wehrenberg AP, Character BJ (2006). Complications associated with 696 tibial plateau leveling osteotomies (2001-2003). *J Am Anim Hosp Assoc*; 42(1): 44-50

Stein S, Schmoekel H (2008). Short-term and eight to 12 months results of a tibial tuberosity advancement as treatment of canine cranial cruciate ligament damage. *J Small Anim Pract*; 49(8): 398-404

Strachan FA, Mansel JC, Clutton RE (2008). A comparison of microbial growth in alfaxalone, propofol and thiopental. *J Small Anim Pract*; 49(4): 186-190

Tepic S, Damur DM, Montavon PM (2002). Biomechanics of the stifle joint. Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress, Munich, Germany, September 5th – 8th (Abstract): 189-190

Tepic S, Montavon PM (2004). Is cranial tibial advancement relevant in the cruciate deficient stifle? Proceedings of the 12th ESVOT Congress, Munich, Germany, September 10th – 12th (Abstract): 132-133

The Downs Veterinary Practice. Review Article: The Modified Maquet Procedure. Retrieved 12.09.2016. www.downsvetreferrals.co.uk/review-article-the-modified-maquet-procedure

Thieman KM, Tomlinson JL, Fox DB, Cook C, Cook JL (2006). Effect of meniscal release on rate of subsequent meniscal tears and owner-assessed outcome in dogs with cruciate disease treated with tibial plateau leveling osteotomy. *Vet Surg*; 35(8): 705-710

Timmermann C, Meyer-Lindenberg A, Nolte I (1998). Zur Meniskusverletzung bei Hunden mit Kreuzbandriß. *Dtsch. tierärztl. Wschr.*; 105(10): 374-377

Tobias KM, Johnston SA (2012). *Veterinary Surgery Small Animal*. 1st edition. Elsevier Saunders, St. Louis, Missouri, United States.

Torres de la Riva G, Hart BL, Farver TB, Oberbauer AM, Messam LL, Willits N, Hart LA (2013). Neutering dogs: effects on joint disorders and cancers in golden retrievers. *PLoS One*; 8(2): e55937

Vasseur PB, Levy J, Dowd E, Eliot J (1988). Surgical wound infection rates in dogs and cats. Data from a teaching hospital. *Vet Surg*; 17(2): 60-64

Vaughan LC (2010). The history of canine cruciate ligament surgery from 1952-2005. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 23(6): 379-384

Vezzoni A (2006). TPLO and TTA - do each have a role? Proceedings of the 13th ESVOT Congress, Munich, Germany, September 7th - 10th (Abstract): 153-154

Voss K, Damur DM, Guerrero T, Haessig M, Montavon PM (2008). Force plate gait analysis to assess limb function after tibial tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate ligament disease. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 21(3): 243-249

Voss K, Imhof J, Kaestner S, Montavon PM (2007). Force plate gait analysis at the walk and trot in dogs with low-grade hindlimb lameness. *Vet Comp Orthop Traumatol*; 20(4): 299-304

Warzee CC, Dejardin LM, Arnoczky SP, Perry RL (2001). Effect of tibial plateau leveling on cranial and caudal tibial thrusts in canine cranial cruciate-deficient stifles: an in vitro experimental study. *Vet Surg*; 30(3): 278-286

Waxman AS, Robinson DA, Evans RB, Hulse DA, Innes JF, Conzemius MG (2008). Relationship between objective and subjective assessment of limb function in normal dogs with an experimentally induced lameness. *Vet Surg*; 37(3): 241-246

Wazen RM, Lefebvre LP, Baril E, Nanci A (2010). Initial evaluation of bone ingrowth into a novel porous titanium coating. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*; 94(1): 64-71

Welsh RP (1980). Knee joint structure and function. *Clin Orthop Relat Res*(147): 7-14

Whitehair JG, Vasseur PB, Willits NH (1993). Epidemiology of cranial cruciate ligament rupture in dogs. *J Am Vet Med Assoc*; 203(7): 1016-1019

Widmer WR, Buckwalter KA, Braunstein EM, Hill MA, O'Connor BL, Visco DM (1994). Radiographic and magnetic resonance imaging of the stifle joint in experimental osteoarthritis of dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*; 35(5): 371-384

Wilke VL, Conzemius MG, Kinghorn BP, Macrossan PE, Cai W, Rothschild MF (2006). Inheritance of rupture of the cranial cruciate ligament in Newfoundlands. *J Am Vet Med Assoc*; 228(1): 61-64

Wilke VL, Zhang S, Evans RB, Conzemius MG, Rothschild MF (2009). Identification of chromosomal regions associated with cranial cruciate ligament rupture in a population of Newfoundlands. *Am J Vet Res*; 70(8): 1013-1017

Winegardner KR, Scrivani PV, Krotscheck U, Todhunter RJ (2007). Magnetic resonance imaging of subarticular bone marrow lesions in dogs with stifle lameness. *Vet Radiol Ultrasound*; 48(4): 312-317

Witsberger TH, Villamil JA, Schultz LG, Hahn AW, Cook JL (2008). Prevalence of and risk factors for hip dysplasia and cranial cruciate ligament deficiency in dogs. *J Am Vet Med Assoc*; 232(12): 1818-1824

Wolf RE, Scavelli TD, Hoelzler MG, Fulcher RP, Bastian RP (2012). 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

Wucherer KL, Conzemius MG, Evans R, Wilke VL (2013). Short-term and long-term outcomes for overweight dogs with cranial cruciate ligament rupture treated surgically or nonsurgically. *J Am Vet Med Assoc*; 242(10): 1364-1372

Wustefeld-Janssens BG, Pettitt RA, Cowderoy EC, Walton MB, Comerford EJ, Maddox TW, Innes JF (2016). Peak Vertical Force and Vertical Impulse in Dogs With Cranial Cruciate Ligament Rupture and Meniscal Injury. *Vet Surg*; 45(1): 60-65

Zachos TA, Arnoczky SP, Lavagnino M, Tashman S (2002). The effect of cranial cruciate ligament insufficiency on caudal cruciate ligament morphology: An experimental study in dogs. *Vet Surg*; 31(6): 596-603

9. ANHANG

9.1. Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1: Schematische Ansicht, die einen Transversalschnitt durch das Kniegelenk zeigt (aus CORR 2009). Bei einem gesunden Kniegelenk (links) kann das Lig. patellae als eine straffe, bleistiftartige Struktur palpirt werden, weil die Gelenkkapsel auf beiden Seiten nachgibt. Bei einem Gelenkerguss (rechts) kann man das Band nicht so klar abgrenzen, weil sich die vermehrt gefüllte Gelenkkapsel zu beiden Seiten auswölbt. 13
- Abb. 2: Schubladenphänomen (aus FOSSUM 2009). 14
- Abb. 3: Durchführung des Tibiakompressionstests (aus FOSSUM 2009). 15
- Abb. 4: Im Vergleich links ein Röntgenbild eines gesunden Kniegelenks und rechts ein Röntgenbild eines anderen Kniegelenks nach vorderem Kreuzbandriss. Zu sehen sind rechts eine vermehrte Gelenkfüllung, starke osteophytäre Zubildungen an Patella, distaler Tibia und proximalem Femur und Enthesiophyten. 17
- Abb. 5: Zwei MRT-Bilder des gleichen Kniegelenks in der Protonendichte-Wichtung mit Fettsaturation (PDFs) in sagittaler Ebene. Auf dem linken Bild ist wegen eines vollständigen Kreuzbandrisses das kraniale Kreuzband nicht abgrenzbar, die grüne Linie markiert seinen eigentlichen Verlauf. Auf dem rechten Bild sieht man das kaudale Kreuzband in normaler Stärke und mit normalem Faserverlauf. 19
- Abb. 6: Zwei MRT-Bilder von zwei unterschiedlichen Kniegelenken in der Protonendichte-Wichtung mit Fettsaturation (PDFs) in sagittaler Ebene. Links ein Kniegelenk, bei dem man das gesunde Hinterhorn des medialen Meniskus sieht. Rechts ein Kniegelenk, bei dem am Kaudalhorn des medialen Meniskus eine Läsion erkennbar ist. 21
- Abb. 7: Bildliche Darstellung des Wagen-Modells (aus SLOCUM und SLOCUM 1998). 25
- Abb. 8: Schematische Darstellung einer TPLO (aus SLOCUM und SLOCUM 1998). 26

Abb. 9: Schematische Darstellung der Kniegelenksmodelle nach SLOCUM und SLOCUM (1993) und nach TEPIC et al. (2002) (aus KIM et al. 2008).....	31
Abb. 10: Schematische Darstellung einer TTA (aus KIM et al. 2008).....	32
Abb. 11: Jeweils 2 Röntgenbilder von 2 unterschiedlichen Patienten nach Modified Maquet Technique (aus ETCHEPAREBORDE et al. 2011a). A) ist jeweils ein Bild direkt nach MMT und B) 3 Monate postoperativ. Beim Patienten links sieht man, dass eine Drahtcerclage zur Fixierung des distalen Knochstegs notwendig war, beim Patienten rechts war dies nicht nötig, da keine Fissur entstanden war.....	35
Abb. 12: Postoperatives Röntgenbild eines Kniegelenks nach Durchführung einer MMP.	37
Abb. 13: Erklärung der präoperativen Messung vor MMP zur Bestimmung der Keilgröße (aus NESS 2011). Linie AB: Tibiaplateau; Punkt C: Mittelpunkt der Eminentia intercondylaris tibiae auf Linie AB; Punkt D: Zentrum des Talus; Linie CD: Tibiaachse; Linie CE: Winkel unter der Linie DCE beträgt 135°; Punkt F: kranialster Teil der Tuberositas tibiae, an dem das Lig. patellae ansetzt; Linie FG: parallel zu Linie CE; Punkt H: Schnittpunkt von Linie FG und Linie AB; Linie FI: ausgehend von F rechtwinklig zu Linie AB mit Schnittpunkt J; Linie FL: ausgehend von F rechtwinklig zu Linie CD; Linie HM: Linie durch H parallel zu Linie IF mit Schnittpunkt M zur Linie FL; Abstand FM (gelb) wird gemessen → Dieser ergibt die Abstandsgröße (Keilgröße), die für einen Patellarsehnenwinkel von 90° benötigt wird.....	38
Abb. 14: Tabelle mit den empfohlenen Keilgrößen der MMP für die verschiedenen Hunderassen (aus NESS 2014).	40
Abb. 15: Foto eines OrthoFoam™ -Titanschaumkeils (Fa. Orthomed Technology GmbH, 24568 Kaltenkirchen).....	41
Abb. 16: Darstellung der 3 Bodenreaktionskräfte Fz, Fx und Fy (aus BUDSBERG et al. 1987).....	48
Abb. 17: Darstellung der Knochenpunkte, die durch einen Marker gekennzeichnet werden (aus OFF und MATIS 1997b).	50
Abb. 18: Darstellung der Gelenkwinkel (aus OFF und MATIS 1997b). Immer 3	

Marker definieren einen Gelenkwinkel.....	50
Abb. 19: Bildliche Darstellung der Osteoarthrosekategorien: Kategorie 1 = keine radiologischen Anzeichen für arthrotische Veränderungen; Kategorie 2 = geringe röntgenologische Veränderungen; Kategorie 3 = deutliche arthrotische Veränderungen mit geringer Knochenzubildung und –ausziehung; Kategorie 4 = starke Zubildungen und Ausziehungen, sowie enorme Strukturverdichtung des Knochens (aus MAGER 2000).	56
Abb. 20: Die 15 definierten Knochenpunkte, die jeweils einen Wert von 1 bis 4 erhalten (aus MAGER 2000).	57
Abb. 21: Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München.....	60
Abb. 22: Beispiel eines Labradors mit aufgeklebten Markern auf dem Laufband.	62
Abb. 23: Nachbearbeitete 3-dimensionale Darstellung der Marker nach dem Labeln.....	63
Abb. 24: Präoperative Messung des Tibiaplateauwinkels:	67
Abb. 25: Rotationstabelle, auf der nachgelesen konnte, um wieviel Zentimeter das Tibiaplateau, in Abhängigkeit vom gemessenen Tibiaplateau und dem verwendeten Sägeblatt, gedreht werden musste, um ein Tibiaplateau mit 5° zu erreichen (von www.newgenerationdevices.com).	68
Abb. 26: Präoperative MMP-Messung, wie im Text erklärt. Die Strecke FM ergibt die errechnete Keilgröße, im hier vorliegenden Fall wurden 9,6 mm gemessen. Das Kalibrationstool („X-Ray Magnification Indicator“, Fa. Biomedtrix, USA-Boonton, New Jersey 07005) wurde auf 10 cm kalibriert.	71
Abb. 27: Bildliche Darstellung der einzelnen Schritte bei der Durchführung der MMP wie im Text näher erklärt.....	73
Abb. 28: Röntgenaufnahmen des gleichen Hundes, die eine traumatische Tibiafraktur als Major-Komplikation der MMP zeigen. Links oben das Röntgenbild post MMP. Rechts oben das Röntgenbild 6 Wochen post MMP mit Tibiafraktur. Links unten das Röntgenbild post Versorgung der Fraktur mit Plattenosteosynthese. Rechts unten das Röntgenbild 5 Monate post	

Plattenosteosynthese.	88
Abb. 29: Röntgenaufnahmen des gleichen Hundes, die einen Implantatausriss als Major-Komplikation einer MMP zeigen. Links das Röntgenbild post MMP. In der Mitte das Röntgenbild 6 Wochen post MMP mit Implantatausriss. Rechts das Röntgenbild nach Reoperation, das die Fixierung mit einer weiteren Drahtcerclage zeigt.	89
Abb. 30: Röntgenaufnahmen des gleichen Hundes, die eine Fibulafraktur als Minor-Komplikation der TPLO zeigen. Links das Röntgenbild post TPLO. In der Mitte das Röntgenbild 6 Wochen post TPLO, es fällt eine Fibulafraktur auf, die bereits konsolidiert ist mit überschießender Kallusbildung. Rechts das Röntgenbild bei der Abschlusskontrolle ≥ 6 Monate postoperativ.	90

9.2. Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Gradeinteilungen der einzelnen Beurteilungskriterien in der klinischen Untersuchung.	54
Tab. 2: Rassenverteilung der in die Studie eingeschlossenen Patienten der TPLO- und MMP-Gruppe, mit Angabe der im Rahmen der Studie beidseitig operierten Hunde.	78
Tab. 3: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 31) zum präoperativen Zeitpunkt im Vergleich.	82
Tab. 4: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 31) 6 Wochen postoperativ im Vergleich.	83
Tab. 5: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 31) 3 Monate postoperativ im Vergleich.	84
Tab. 6: Ergebnisse der klinischen Untersuchung der TPLO-Gruppe (n = 30) und der MMP-Gruppe (n = 28) bei der Abschlusskontrolle ≥ 6 Monate postoperativ im Vergleich.	85
Tab. 7: Übersicht über das Vorliegen von Meniskusklick und Meniskusläsionen bei den 76 Kniegelenken.	87
Tab. 8: Alle aufgetretenen Major- und Minor-Komplikationen in Bezug auf die Anzahl der Kniegelenke im Überblick.	90
Tab. 9: Anzahl der Hunde mit Komplikationen (Major- und Minor-Komplikationen und Gesamt).	91
Tab. 10: Gesunde Hunde – Kontrollgruppe – Kinetische Parameter.	92
Tab. 11: Ergebnisse des kinetischen Parameters PVF von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.	93
Tab. 12: Mittelwerte des kinetischen Parameters PVF der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.	95
Tab. 13: Ergebnisse des kinetischen Parameters VI von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.	96
Tab. 14: Mittelwerte des kinetischen Parameters VI der TPLO- und MMP-Gruppe	

zu allen Untersuchungszeitpunkten.....	97
Tab. 15: Ergebnisse des kinetischen Parameters SD von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.....	99
Tab. 16: Mittelwerte des kinetischen Parameters SD der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.....	100
Tab. 17: Aufstellung der Effektgrößen und des 95 % Konfidenzintervalls der Parameter PVF und VI von TPLO-Gruppe und MMP-Gruppe im Vergleich, sowie Vergleich von TPLO-Gruppe bzw. MMP-Gruppe mit der Kontrollgruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.	101
Tab. 18: Lahmheitsbeurteilung bei der Abschlusskontrolle mittels objektiver computergestützter Ganganalyse und subjektiver klinischer Untersuchung.	103
Tab. 19: Übersicht über lahme und lahmheitsfreie Tiere, die mittels klinischer Untersuchung ermittelt wurden im Vergleich zu den bei der Ganganalyse als lahm eingestuften Hunden.....	103
Tab. 20: Gesunde Hunde – Kontrollgruppe – Kinematische Parameter.....	104
Tab. 21: Ergebnisse des kinematischen Parameters ROM der Hüfte von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich.....	105
Tab. 22: Mittelwerte des kinematischen Parameters ROM der Hüfte der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.....	106
Tab. 23: Ergebnisse des kinematischen Parameters ROM des Kniegelenks von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich....	108
Tab. 24: Mittelwerte des kinematischen Parameters ROM des Kniegelenks der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.	110
Tab. 25: Ergebnisse des kinematischen Parameters ROM des Tarsalgelenks von TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten im Vergleich....	111
Tab. 26: Mittelwerte des kinematischen Parameters ROM des Tarsalgelenks der TPLO- und MMP-Gruppe zu allen Untersuchungszeitpunkten.	112

9.3. Tabellen

Übersicht über die verwendeten Plattengrößen in der TPLO-Gruppe.

Rasse	TPLO-Platte	Anzahl Hunde	Anzahl Kniegelenke
Labrador Retriever	3,5	11	16
DSH-Mischling	3,5	2	2
Mischling	3,5	3	3
Golden Retriever	3,5	3	3
Entlebucher Sennenhund	3,5	2	2
Skandinav. Schlittenhund	3,5	1	1
Deutsch Drahthaar	3,5	1	1
Alaskan Malamute	3,5	1	2
Boxer-Mischling	3,5	1	2
Magyar Vizsla	3,5	1	2
DSH	3,5	2	4
Labrador-Retriever-Mischling	3,5 breit	1	2
Dobermann	3,5 breit	1	1
Gesamt	38 Knie mit 3,5 TPLO-Platte. 3 Knie mit breiter 3,5 TPLO-Platte.	30	41

Übersicht über die verwendeten Keilgrößen in der MMP-Gruppe.

Rasse	Keilgröße	Anzahl Hunde	Anzahl Kniegelenke
Labrador Retriever	6	1	1
Labrador Retriever	9	4	4
Labrador Retriever	10,5	2	2
Labrador Retriever	12	2	3
Labrador Retriever	13,5	1	1
Labrador-Retriever-Mischling	10,5	1	1
Golden Retriever	10,5	1	1
Golden Retriever	12	2	2
Golden-Retriever-Mischling	12	1	1
Mischling	7,5	2	2
Mischling	9	3	3
Mischling	10,5	1	1
Mischling	12	2	2
Bayerischer Gebirgsschweißhund	7,5	1	1
Slovensky kopov	7,5	1	1
Tiroler Bracke	7,5	1	1
Tiroler Bracke	9	1	1
Kangal-Mix	9	1	1
Magyar Vizsla	9	1	1
Belgischer Schäferhund	10,5	1	1
Berner-Sennenhund-Mischling	10,5	1	2
Englische Bulldogge	10,5	1	1
Dobermann	10,5	1	1
Gesamt	1 Knie mit 6 mm Keil 5 Knie mit 7,5 mm Keil 10 Knie mit 9 mm Keil 10 Knie mit 10,5 mm Keil 8 Knie mit 12 mm Keil 1 Knie mit 13,5 mm Keil	33 (2 Hunde doppelt)	35

10. DANKSAGUNG

An erster Stelle möchte ich mich ganz herzlich bei Frau Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg für die Überlassung dieses interessanten Themas und ihre immerwährende Unterstützung bei der Anfertigung dieser Arbeit bedanken.

Besonderer Dank geht an Dr. Stephanie Steigmeier-Raith für ihre Unterstützung im Ganganalyselabor und bei der Auswertung der Daten, ihre Motivation und Hilfe bei allen Fragen und ihr Engagement, das so nicht selbstverständlich ist.

Großer Dank geht auch an Dr. Julia Knebel für ihre Hilfe bei der Ausarbeitung des Themas und beim Erheben der klinischen Daten, für ihre Motivation und die hilfreichen Änderungsvorschläge nach der Durchsicht dieser Arbeit.

Ohne die Mithilfe der Mitarbeiter/innen dieser Klinik wäre meine Arbeit nicht möglich gewesen. Danke an die radiologische Abteilung für die Hilfe beim Anfertigen aller Röntgenaufnahmen und besonders an Dr. Andreas Brühschwein, der mir bei Fragen immer zur Seite stand. Danke auch an alle Pfleger/innen und Azubis/Azubinen für die Hilfe bei den Aufnahmen im Ganganalyselabor und allen Assistenten/innen für die Hilfe bei den klinischen Untersuchungen. Vielen Dank an Patrick Wagmeister, der mich beim Sammeln der Daten unterstützte und an Dr. Korbinian Pieper für seine Hilfe bei der Übersetzung der Zusammenfassung.

Herzlich bedanken möchte ich mich auch bei Herrn Privatdozent Dr. Reese für seine große Hilfe bei der statistischen Auswertung.

Schließlich und besonders möchte ich mich bei meinen Freunden und meiner Familie bedanken. Meinen Freundinnen Nora, Carmen, Helena, Tine, Paula und Saskia dafür, dass sie meine Arbeit Korrektur gelesen haben, mir beim Marker kleben halfen, Hunde bei den Laufbandaufnahmen hielten und mir immer beigestanden sind, mit vielen Kaffees und motivierenden Gesprächen. Der allergrößte Dank gilt aber meinen Eltern. Ohne sie, die mich immer unterstützt und an mich geglaubt haben und mir dieses Studium erst ermöglicht haben, wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen. Vielen Dank auch meinem Bruder Jochen für seine Unterstützung und seine Hilfe beim Formatieren. Last but not least ein riesiges Dankeschön meinem Freund Musti, für seine Geduld, seine Motivation und sein Verständnis und natürlich seine Hilfe bei allen IT-Fragen.