

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

von Lukas Erich Trillig

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

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

von Lukas Erich Trillig

aus Offenbach am Main

München 2023

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. Daniela Eberle

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

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

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

Korreferent: Priv.-Doz. Dr. Petra Kölle

Tag der Promotion: 11. Februar 2023

Meiner Familie

INHALTSVERZEICHNIS

1.	ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....	VII
2.	EINLEITUNG.....	1
3.	LITERATURÜBERSICHT	2
3.1.	Ätiologie und Pathophysiologie vom vorderen Kreuzbandriss	2
3.2.	Diagnostik	3
3.3.	Therapie	5
3.4.	Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)	6
3.5.	Tibial Tuberosity Advancement (TTA) und Modified Maquet Procedure (MMP).....	8
3.6.	Ganganalyse	10
4.	PUBLIKATION.....	12
5.	DISKUSSION	25
6.	ZUSAMMENFASSUNG	35
7.	SUMMARY	37
8.	LITERATURVERZEICHNIS	39
9.	DANKSAGUNG.....	49

1. ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

CTT	Cranial Tibial Thrust (kranialer Tibiavorschub)
kg	Kilogramm
KGW	Körpergewicht
MMP	Modified Maquet Procedure
MRT	Magnetresonanztomografie
PVF	Peak Vertical Force
StD	Standphasendauer
TPLO	Tibial Plateau Leveling Osteotomy
TTA	Tibial Tuberosity Advancement
VI	Vertical Impulse
vKBR	vorderer Kreuzbandriss / Ruptur des vorderen Kreuzbandes
z.B.	zum Beispiel

2. EINLEITUNG

Um die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (vKBR) beim Hund, häufig ursächlich für Lahmheiten der Hintergliedmaßen (Johnson et al. 1994, Corr 2009), zu therapieren, wurden bereits verschiedene chirurgische Versorgungstechniken beschrieben. Bereits im Jahr 1993 stellten Slocum und Devine Slocum die Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) vor, welche bis heute eine etablierte und weitverbreitete Umstellungsosteotomie zur chirurgischen Versorgung eines vorderen Kreuzbandrisses beim Hund ist (Slocum & Devine Slocum 1993). Die Tibial Tuberosity Advancement (TTA), die 2002 von Montavon et al. eingeführt wurde (Montavon et al. 2002, Montavon et al. 2004), wurde schließlich von Ness in Zusammenarbeit mit der Firma Orthomed zur Modified Maquet Procedure weiterentwickelt (Ness 2011, Ness 2014). Da es zu dieser neueren chirurgischen Versorgungsmöglichkeit eines vKBR beim Hund noch keine vergleichenden Langzeitstudien gibt, war es das Ziel der vorliegenden Studie, die MMP der etablierten TPLO anhand von Langzeitkontrollen über ein Jahr (\varnothing 3,15 Jahre) gegenüberzustellen. Dabei wurden die beiden OP-Techniken mittels klinischer Untersuchungen, röntgenologischer Beurteilung der Arthroseprogression und Ganganalyse durch Laufbanduntersuchungen miteinander und mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen. Die vorangegangene Studie von Knebel et al. (2020), welche Ergebnisse einer kürzeren Zeitspanne bis sechs Monate postoperativ lieferte, diente hierbei als Vorlage. Es sollte überprüft werden, ob bei den Langzeitkontrollen vergleichbare Ergebnisse zwischen den beiden Operationsmethoden wie bei der vorangegangenen Studie erhoben werden konnten. Zusätzlich wurde der Einfluss der Erfahrung verschiedener Operateure bei der TPLO überprüft.

3. LITERATURÜBERSICHT

3.1. Ätiologie und Pathophysiologie vom vorderen Kreuzbandriss

Bis heute ist die Ätiologie und Pathophysiologie der Ruptur des vorderen Kreuzbandes beim Hund noch nicht vollständig geklärt. Studien zeigen jedoch, dass es sich um die häufigste Kniegelenkserkrankung handelt, welche zu einer Lahmheit der Hintergliedmaße führt (Johnson & Johnson 1993, Corr 2009). Da in unterschiedlichen Studien die Zahl der bilateral betroffenen Hunde bei bis zu 75% liegt (Cabrera et al. 2008, Buote et al. 2009, Grierson et al. 2011, Shimada et al. 2020), scheinen degenerative Veränderungen ein wichtiger Bestandteil dieser multifaktoriellen Erkrankung zu sein (Comerford et al. 2011). Ein Bagateltrauma kann aufgrund der degenerativen Veränderungen ausreichend für eine Ruptur des vorderen Kreuzbandes sein (Comerford et al. 2011). Der Neufundländer ist bewiesenermaßen eine genetisch prädisponierte Rasse (Wilke et al. 2006, Baird et al. 2014) und auch für andere Rassen, wie beispielsweise Labrador Retriever oder Rottweiler, wird aufgrund des häufigen Auftretens eines vKBR von einer Prädisposition ausgegangen (Whitehair et al. 1993, Witsberger et al. 2008, Comerford et al. 2011). Weitere prädisponierende Faktoren sind Geschlecht und Kastrationsstatus. So sind weibliche Hunde häufiger betroffen als männliche (Whitehair et al. 1993). Auch kastrierte Hunde sind häufiger betroffen als unkastrierte (Whitehair et al. 1993). Außerdem scheinen anatomische Variationen und Abweichungen von der Norm eine wichtige Rolle zu spielen: Vor allem ein besonders steiler Tibiaplateauwinkel (Morris & Lipowitz 2001, Selmi & Padilha Filho 2001, Duerr et al. 2007), eine enge „interkondyläre Notch“ (Comerford et al. 2006) sowie eine übermäßige Innenrotation der Tibia in Verbindung mit einer medialen Patellaluxation und ein Genu varum (Gibbons et al. 2006, Duerr et al. 2007) können prädisponierend für einen vKBR sein. Histologische Veränderungen und Veränderungen der extrazellulären Matrix wurden bei rupturierten Kreuzbändern bereits beschrieben und scheinen ebenfalls eine Rolle zu spielen (Hayashi et al.

2003a, Comerford et al. 2005, Muir et al. 2005, Comerford et al. 2011).

3.2. Diagnostik

Für die Diagnosestellung eines vKBR ist eine Kombination aus umfangreicher Anamnese, gründlicher orthopädischer Untersuchung und zusätzlich bildgebenden Verfahren zu empfehlen. Ein erster Hinweis kann ein positiver Sitztest sein, bei dem die Hunde das Bein, welches von einem vKBR betroffen ist, im Sitzen vom Körper abspreizen (Slocum & Devine Slocum 1998). Eine Schmerzhaftigkeit bei der Untersuchung, vor allem bei maximaler Streckung des Kniegelenks, lässt sich sehr häufig auslösen (Tobias & Johnston 2012). Die beiden wichtigsten Tests der orthopädischen Untersuchung zur Diagnosestellung eines vKBR sind der Schubladentest und der Tibiakompressionstest. Beim Schubladentest wird bei einem vKBR eine kraniokaudale Instabilität ausgelöst, indem die Tibia - bei fixiertem Femur - durch den Untersucher sowohl in Streckung als auch in Beugung des Kniegelenks nach kranial und kaudal bewegt wird (Tobias & Johnston 2012). Ein positiver Schubladentest ist pathognomonisch, kann jedoch bei jüngeren, noch nicht ausgewachsenen Hunden auch bis zu einem gewissen Grad physiologisch sein (Tobias & Johnston 2012). Beim Tibiakompressionstest wird eine kompressive Kraft auf das Kniegelenk ausgeübt, welche bei vKBR einen „cranial tibial thrust“ (CTT), also einen kranialen Vorschub der Tibia, bedingt (Tobias & Johnston 2012). Ein intaktes vorderes Kreuzband würde dieser Kraft entgegenwirken. Genauer wird das Kniegelenk mit der einen Hand fixiert, während der Zeigefinger auf der Tuberositas Tibiae zu liegen kommt und gleichzeitig das Tarsalgelenk mit der zweiten Hand gebeugt wird. Der Test ist als positiv zu bewerten, wenn sich die Tuberositas tibiae unter dem Zeigefinger nach kranial bewegt. Beide zuvor genannten Tests weisen bei Untersuchungen in Narkose eine höhere Sensitivität auf als am wachen Patienten (Carobbi & Ness 2009). Bei unklarer Diagnose oder unkooperativen Patienten kann also zusätzlich eine Untersuchung in Narkose in Erwägung gezogen werden. Ein weiterer Hinweis auf einen vKBR kann in chronischen Fällen eine periphere Weichteil- und mediale Verdickung im Kniegelenksbereich („medial buttress“) sein (Corr 2009, Tobias & Johnston 2012).

Zum Ausschluss von anderen Erkrankungen - wie beispielsweise Neoplasien, Frakturen oder andere (nicht) knöcherne Veränderungen - und zur Erhebung des Arthrosegrades sollten stets Röntgenbilder des Kniegelenks in zwei Ebenen angefertigt werden (Tobias & Johnston 2012). Ein vergrößerter Weichteilschatten, der für eine vermehrte Gelenkfüllung spricht, und eine Verdrängung des Kniefettkörpers können als pathologische Befunde weitere Hinweise auf einen vKBR sein. Auch Osteophyten oder Enthesiophyten (Widmer et al. 1994, Tobias & Johnston 2012) sowie eine kraniale Subluxation des Kniegelenks (Kim et al. 2011) können röntgenologische Befunde bei einem vKBR sein.

Als unterstützendes, bildgebendes Verfahren kann die sonografische Untersuchung des Kniegelenks zur Diagnose eines vKBR und zur Beurteilung eines Meniskusschadens eingesetzt werden. In einer Studie ließen sich mit einer Sensitivität von 83,9% vollständige vKBR erkennen, wohingegen die Sensitivität bei partiellen Rupturen etwas darunter (72,2%) lag (Schnappauf et al. 2007). Studienabhängig liegt die Sensitivität zur Beurteilung der Menisken zwischen 49,0% und 90,0% (Müller & Kramer 2003, Mahn et al. 2005), was von den unterschiedlichen Ultraschallgeräten, der Größe der Hunde und Art des Meniskusdefekts abhängig sein kann (Nayseh et al. 2015a, Nayseh et al. 2015b).

Als nicht-invasive Möglichkeit zur Beurteilung der Kreuzbänder und vor allem zur Diagnostik von Meniskusläsionen wird immer häufiger die Magnetresonanztomografie (MRT) eingesetzt. Häufige Befunde bei Hunden mit vKBR können in der MRT osteoarthrotische Veränderungen, vermehrte Gelenkfüllung, subchondrale Zysten, Kochenmarksödeme und Knorpelerosionen sein (Libicher et al. 2005, Winegardner et al. 2007). Die Meniskusdiagnostik mittels Hochfeldgerät wies in einer Studie eine Sensitivität von 100% auf (Blond et al. 2008), wohingegen in einer anderen Studie mittels Niederfeldgerät nur eine Sensitivität von 69% erreicht wurde (Böttcher et al. 2010).

Als minimalinvasive Möglichkeit zur Beurteilung der Kreuzbänder, der Menisken und des Knorpels kann eine Arthroskopie des Kniegelenks durchgeführt werden (Tobias & Johnston 2012). Ein Vorteil hierbei ist, dass zusätzlich zur Evaluierung der verschiedenen Strukturen gleichzeitig eine

chirurgische Versorgung von möglichen Läsionen erfolgen kann. Die Arthroskopie scheint zur Meniskusdiagnostik anderen Methoden wie der Arthrotomie (Pozzi et al. 2008a, Plesman et al. 2013) oder MRT-Untersuchung mittels Niederfeldgerät (Böttcher et al. 2010) überlegen zu sein.

3.3. Therapie

Es gibt viele verschiedene Möglichkeiten, die zur Therapie eines vKBR beschrieben werden. Darunter fallen chirurgische Techniken wie extrakapsuläre oder intrakapsuläre Versorgungen und Stabilisierungen, sowie Umstellungsosteotomien. Außerdem werden auch konservative Therapieoptionen mittels Physiotherapie, Gabe von nichtsteroidalen Antiphlogistika, Gewichtsreduktion und strikte Ruhighaltung sowohl in Kombination als auch als alleinige Therapie beschrieben (Corr 2009, Comerford et al. 2013, Wucherer et al. 2013). Allerdings weisen konservative Therapien eines vKBR stets schlechtere Ergebnisse auf als chirurgische Techniken (Corr 2009, Wucherer et al. 2013) und sollten daher nur unter bestimmten Umständen wie Narkoseuntauglichkeit des Tieres, Kostenlimitation durch die Besitzer, Alter und Gewicht des Hundes bei gleichzeitiger Betrachtung der Schwere und Dauer der Lahmheit in Erwägung gezogen werden (Comerford et al. 2013). Zudem wird bei konservativer Therapie eines vollständigen vKBR das Risiko einer sekundären medialen Meniskusläsion erhöht (Hayes et al. 2010).

Andere Studien konnten bereits zeigen, dass auch intrakapsuläre Stabilisierungen (Conzemius et al. 2005) und extrakapsuläre Versorgungstechniken (Böddeker et al. 2012, Nelson et al. 2013, Berger et al. 2015, Krotscheck et al. 2016) zwar erfolgreich angewendet werden können, aber verschiedenen Umstellungsosteotomien wie zum Beispiel TPLO oder TTA unterlegen sind. Die mit der TTA vergleichbare MMP erzielte in einer Studie von Knebel et al. (2020) ähnliche Ergebnisse wie die TPLO. Daher sollen im Folgenden die für diese Studie relevanten Umstellungsosteotomien besprochen werden.

3.4. Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO)

Bereits 1993 beschrieben Slocum und Devine Slocum erstmals die TPLO zur Versorgung eines vorderen Kreuzbandrisses beim Hund. Ziel dieser von ihnen entwickelten OP-Technik war es, den zuvor bereits beschriebenen cranial tibial thrust (CTT) (Slocum & Devine 1983) zu neutralisieren. Indem der Tibiaplateauwinkel auf ca. 6° durch die Rotation bei der TPLO reduziert wurde, wurde zwar nicht das Kreuzband ersetzt, jedoch das biomechanische Prinzip so verändert, dass das vordere Kreuzband zum Ausgleich des cranial tibial thrust nicht mehr benötigt wurde (Slocum & Devine Slocum 1998). Nach dem kurvilinearen Sägeschnitt mittels oszillierender Säge, wird das Tibiaplateau um die zuvor ermittelte Distanz rotiert und mit einer speziellen TPLO-Platte befestigt (Slocum & Devine Slocum 1998, Tobias & Johnston 2012). Durch die Neutralisation dieser vorwärts gerichteten, aktiven Kraft wird ein Ersatz des Kreuzbandes überflüssig. Studien fanden heraus, dass eine Rotation des Tibiaplateaus auf 0° zu einer Mehrbelastung des kaudalen Kreuzbandes durch eine kaudal gerichtete Translation der Tibia führt (Warzee et al. 2001, Reif et al. 2002). Daher wurde eine Rotation auf circa 5° als optimal angesehen (Slocum & Devine Slocum 1998, Warzee et al. 2001). Auch Tinga et al. (2020) konnten in ihrer Studie anhand von Laufbanduntersuchungen allerdings zeigen, dass sechs Monate nach chirurgischer Versorgung mittels TPLO weiterhin eine Instabilität des Kniegelenks vorlag. Dabei wurde durch die TPLO die kraniale Subluxation der Tibia meist vermindert oder sogar bis hin zur kaudalen Subluxation korrigiert (Tinga et al. 2020).

Die postoperativen Ergebnisse nach TPLO wurden bereits in vielen verschiedenen Studien untersucht. In einer experimentellen Studie zeigten Hunde nach Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes 18 Wochen nach operativer Versorgung mittels TPLO keine signifikanten Unterschiede bei der ganganalytischen Untersuchung im Vergleich zur präoperativen Untersuchung (Ballagas et al. 2004). Während acht Wochen postoperativ noch signifikante Unterschiede bei der Peak Vertical Force (PVF) und dem Vertical Impulse (VI) ermittelt werden konnten, zeigte die ganganalytische Auswertung nach 18 Wochen keine signifikanten Unterschiede mehr.

In einer anderen, klinischen Studie zeigten die Hunde bei der Ganganalyse

sieben Monate nach der Operation keine signifikanten Unterschiede der Bodenreaktionskräfte PVF und VI im Vergleich zur kontralateralen Seite (Amimoto et al. 2019). Bei kleineren Hunderassen unter 15 Kilogramm (kg) Körpergewicht konnte in einer anderen Studie eine kontinuierliche Verbesserung der Funktion der operierten Gliedmaße bis hin zu einer nahezu normalen Belastung sechs Wochen postoperativ festgestellt werden (Amimoto et al. 2020). In ihrer Studie konnten de Medeiros et al. (2011) ebenfalls eine Verbesserung der Bodenreaktionskräfte bei der Ganganalyse zwölf Wochen nach Versorgung eines vKBR mittels TPLO nachweisen. Langzeitkontrollen zeigten eine Verbesserung der PVF innerhalb von sechs Monaten im Vergleich zu vor der Operation, welche auch nach 36 Monaten noch Bestand hatte (Shimada et al. 2020). In dieser Studie konnte zusätzlich eine signifikante Progression der Kniegelenksarthrosen bis zu Kontrolle nach drei Jahren festgestellt werden (Shimada et al. 2020). Wucherer et al. (2013) konnten bei übergewichtigen Hunden bei Kontrollen der Bodenreaktionskräfte bis zu ein Jahr postoperativ eine Überlegenheit der TPLO im Vergleich zur nicht-chirurgischen Therapie (Physiotherapie, Gewichtsreduktion und Gabe von nichtsteroidalen Antiphlogistika) feststellen.

In mehreren Studien, die im Folgenden genannt werden, wurde die TPLO auch bereits mit anderen chirurgischen Versorgungsmöglichkeiten und OP-Techniken sowohl kurzfristig als auch bei Langzeitkontrollen verglichen. Im Vergleich zu extrakapsulären Versorgungstechniken konnten bei Kontrollen bis zu ein Jahr nach der Operation bei den Studien von (Böddeker et al. 2012) und (Nelson et al. 2013) bei der TPLO schneller eine normale Gliedmaßenfunktion festgestellt werden. Eine andere Studie konnte diese Überlegenheit der TPLO gegenüber einer extrakapsulären Versorgungstechnik (Kapsel-Faszien-Raffung und Fasziendoppelung) bei kleineren Hunderassen ebenfalls aufzeigen (Berger et al. 2015). In einer anderen Studie mit 131 Labrador Retrievern mit unilateralem vKBR zeigten die Hunde, die mit einer intrakapsulären Stabilisierung versorgt wurden, bei den Kontrollen zwei und sechs Monate postoperativ signifikant niedrigere Werte der Bodenreaktionskräfte PVF und VI als Hunde, welche mittels TPLO oder einer extrakapsulären Methode versorgt wurden (Conzemius et

al. 2005). Im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe konnten die mit der TPLO operierten Hunde in dieser Studie jedoch nur zu 11% eine normale Funktion der Gliedmaße erreichen, was bei mehr als 80% der Bodenreaktionskräfte der gesunden Hunde definiert war (Conzemius et al. 2005). In der Studie von Krotscheck et al. (2016) führte die TPLO nach sechs Monaten sowohl im Schritt als auch im Trab zu mit einer gesunden Kontrollgruppe vergleichbaren Bodenreaktionskräften und normalen Funktion der Gliedmaße. Hingegen erreichten Hunde, die mittels TTA oder extrakapsulärer Technik versorgt wurden, erst nach einem Jahr normale Werte der Bodenreaktionskräfte im Schritt, jedoch nicht im Trab (Krotscheck et al. 2016). Livet et al. (2019) konnten in ihrer Studie bei Kontrollen bis zu sechs Monate nach der Operation zeigen, dass die TPLO und eine modifizierte TTA (TTA Rapid) vergleichbare Ergebnisse hatten. Hierbei wurden in beiden Gruppen gute ganganalytische Ergebnisse erzielt und die Arthrose schritt nach beiden OP-Methoden ohne signifikante Unterschiede zueinander fort. Moore et al. (2020) konnten ihrer Studie bei Langzeitkontrollen über drei Jahre postoperativ jedoch aufzeigen, dass die Arthroseprogression nach der TPLO signifikant niedriger war als nach der TTA (Moore et al. 2020). Die Autoren vermuteten, dass eine anhaltende Instabilität des Kniegelenks nach TTA zu vermehrter Progression der Arthrose führt, wie bereits andere Studien belegen konnten (Moore & Read 1995, Krotscheck et al. 2016).

3.5. Tibial Tuberosity Advancement (TTA) und Modified Maquet Procedure (MMP)

Montavon et al. (2002) und (Tepic et al. 2002) stellten die Tibial Tuberosity Advancement (TTA) zeitgleich erstmals im Jahr 2002 vor und diese beruht laut den Erfindern auf einem anderen biomechanischen Prinzip als die TPLO. Im Gegensatz zum Modell von Slocum & Devine Slocum (1993), bei dem vermutet wird, dass die totalen Gelenkkkräfte parallel zur Achillessehne und somit ebenfalls zur Tibiaachse verlaufen, nehmen Tepic et al. (2002) an, dass die Kräfte, die auf das Kniegelenk wirken, parallel zum Ligamentum patellae verlaufen. Zur präoperativen Planung der TTA wird ein Röntgenbild im mediolateralen Strahlengang des Kniegelenks im 135°-

Winkel und der Tibia benötigt, um zu planen, wie weit die Tuberositas tibiae kranialisiert werden muss (Montavon et al. 2002, Montavon et al. 2004). Die mittels Osteotomie vollständig abgesetzte Tuberositas tibiae wird durch einen entsprechenden Platzhalter („Cage“) im Osteotomiespalt kranialisiert und mit einer speziellen Platte mit Gabel fixiert (Montavon et al. 2002). Durch die Kranialisierung der Tuberositas Tibiae bei der TTA soll das Ligamentum patellae im 90°-Winkel zum Tibiaplateau verlaufen und daher der CTT eliminiert werden. Auf dem gleichen biomechanischen Prinzip beruht die Modified Maquet Procedure (MMP), die als Weiterentwicklung der Tibial TTA gilt (Ness 2011, Ness 2014, Ness 2016). Statt des Käfigs wie bei der TTA (Montavon et al. 2002), wird bei der MMP ein Titanschaumkeil, der zusätzlich mit einem Pin fixiert wird, als Platzhalter eingebracht (Ness 2011, Ness 2014), um die Tibia zu kranialisieren und gleichzeitig zu fixieren. Hierbei wird im Gegensatz zur TTA ein distaler Knochensteg stehen gelassen, an dem ergänzend Drahtcerclagen oder Klammern zur zusätzlichen Fixierung angebracht werden (Ness 2011, Ness 2014).

Verschiedene Studien konnten bereits zeigen, dass nach chirurgischer Versorgung eines vKBR mittels TTA gute ganganalytische Ergebnisse erzielt werden können, diese Werte der Bodenreaktionskräfte jedoch nicht an die von gesunden Kontrollgruppen heranreichen (Voss et al. 2008, Krotscheck et al. 2016). Das klinisch-funktionelle Ergebnis scheint nach chirurgischer Versorgung mittels TTA jedoch schlechter zu sein als nach TPLO und auch die Arthroseprogression scheint bei der TTA im Vergleich zur TPLO stärker fortzuschreiten (Beer et al. 2018, Moore et al. 2020).

Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es erst wenige Studien, die Ergebnisse nach chirurgischer Versorgung mittels MMP nach vKBR überprüfen. Ness (2016) konnte in seiner Studie bei Kontrollen mittels orthopädischer Untersuchung zwischen sechs und elf Monaten postoperativ feststellen, dass 77% der Hunde eine normale und 7,7% eine akzeptable Funktion der Gliedmaße erlangt hatten. Die restlichen Hunde konnte er nicht bewerten, da sie entweder verstorben waren oder auf der kontralateralen Seite einen vKBR erlitten hatten. Bei ganganalytischen und röntgenologischen Kontrollen bis zu 90 Tagen nach der MMP-Operation stellten Della Valle et al. (2021) eine signifikante Verbesserung der Bodenreaktionskräfte bei allen operierten

Gliedmaßen fest. In der genannten Studie wurden die Hunde vor der Operation, sowie 15, 30 und 90 Tage nach der Operation untersucht, wobei die operierten Gliedmaßen ganganalytisch jeweils mit der gesunden, kontralateralen Seite verglichen wurden. Die Autoren fanden radiologisch zudem eine vollständige Knochenheilung bei den Kontrollen 90 Tage nach der Operation in allen operierten Gelenken (Della Valle et al. 2021). Bisher gibt es nur die Studie von Knebel et al. (2020), die die MMP mit einer anderen OP-Technik, nämlich der TPLO, vergleicht. Die Autoren untersuchten die beiden OP-Techniken prospektiv orthopädisch, radiologisch und ganganalytisch und verglichen sie sowohl gegeneinander als auch zusätzlich mit einer gesunden Kontrollgruppe bis zu sechs Monate nach der Operation. Hierbei konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden OP-Techniken festgestellt und gute Ergebnisse beider Gruppen im Vergleich zur Kontrollgruppe erhoben werden (Knebel et al. 2020).

3.6. Ganganalyse

Um eine objektive Bewertung von Lahmheiten zu ermöglichen, werden in der Tiermedizin in den letzten Jahrzehnten zunehmend kinetische und kinematische Parameter mit der computergestützten Ganganalysen ausgewertet (Evans et al. 2005, Bockstahler et al. 2007, Gillette & Angle 2008). Verschiedene Studien konnten bereits zeigen, dass die bei einer Ganganalyse erhobenen Daten besser objektiv miteinander vergleichbar sind als eine subjektive Bewertung von Lahmheiten im Rahmen einer orthopädischen Untersuchung (Quinn et al. 2007, Waxman et al. 2008, Conzemius & Evans 2012). Die bei der Kinetik beschriebenen Kräfte werden in der Ganganalyse als Bodenreaktionskräfte beschrieben (Budsberg et al. 1987, DeCamp 1997, Off & Matis 1997a, Off & Matis 1997b). Die Peak Vertical Force (PVF) gibt den maximalen Wert der Bodenreaktionskraft während der Standphase an und ist somit eine Spitzenkraft, welche bei Ganganalysen sehr häufig Verwendung findet, um Lahmheiten zu beurteilen (Budsberg et al. 1993, Rumph et al. 1994). Bei Lahmheiten ist dieser Wert folglich kleiner, da die Tiere nicht mit der maximalen Kraft auftreten (DeCamp 1997). Um Tiere unterschiedlichen Körpergewichts besser miteinander vergleichen zu können, werden die

absoluten Kräfte (in Newton) prozentual zum Körpergewicht (KGW) angegeben: % kg KGW (Off & Matis 1997b, Krotscheck et al. 2014). Als zweite Bodenreaktionskraft wird der Vertical Impulse (VI) verwendet, der das Integral der gesamten Kraft während der Standphase widerspiegelt (Budsberg et al. 1987) und in „% kg KGW*Sekunde“ angegeben wird. Zusätzlich wird die Standphasendauer (StD) bestimmt, welche prozentual zur gesamten Schrittdauer angegeben wird; also die Phase eines Schrittes, bei der der Fuß den Boden berührt. Aktuelle Studien, welche ganganalytische Ergebnisse vergleichen, verwenden die gleichen Bodenreaktionskräfte, um eine objektive Beurteilung zu erhalten (Amimoto et al. 2020, Knebel et al. 2020, Shimada et al. 2020, Della Valle et al. 2021).

Als Ergänzung zu den kinetischen Parametern kann die Kinematik angesehen werden (DeCamp 1997), bei der der Bewegungsumfang der Gelenke der untersuchten Gliedmaße beurteilt werden kann (DeCamp et al. 1993, Gillette & Angle 2008). Im Gegensatz zu den kinetischen Parametern, die die Funktion einer Gliedmaße evaluieren, beschreibt die Kinematik die Bewegung des Körpers im Raum (DeCamp et al. 1993, DeCamp 1997). Für die kinematische Untersuchung werden die Tiere mit reflektierenden Markern an markanten Knochenpunkten beklebt (Off & Matis 1997b), die von einem Kamerasystem aufgenommen werden und so die maximalen Extensions- und Flexionswinkel bestimmt werden können (DeCamp et al. 1993, Leach 1993). Ein unpräzises Anbringen der Marker und die Verschieblichkeit der Haut kann hierbei zu Messfehlern führen (Raith 2010). Auch individuelle Einflüsse des Tieres, anatomische Unterschiede der verschiedenen Hunderassen sowie der Gesundheitszustand können diesen Bewegungsumfang eines Gelenks jedoch beeinflussen (Raith 2010).

4. PUBLIKATION

Der Originalartikel wurde am 14. Juli 2022 im Journal „Tierärztliche Praxis - Ausgabe Kleintiere“ eingereicht und am 30. August 2022 zur Veröffentlichung angenommen.

Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München

Vergleichende Langzeitergebnisse zwischen Tibial Plateau Leveling Osteotomy und Modified Maquet Procedure

Langzeitergebnisse über ein Jahr nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) im Vergleich zur Modified Maquet Procedure (MMP) nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes beim Hund

Comparative long-term results between Tibial Plateau Leveling Osteotomy and Modified Maquet Procedure

Long-term outcomes over one year after Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) compared with Modified Maquet Procedure (MMP) after canine anterior cruciate ligament disease

Lukas Trillig, Daniela Eberle, Sven Reese, Andrea Meyer-Lindenberg

Vergleichende Langzeitergebnisse zwischen Tibial Plateau Leveling Osteotomy und Modified Maquet Procedure nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes beim Hund

Comparison of long-term results of Tibial Plateau Leveling Osteotomy and Modified Maquet Procedure in canine anterior cruciate ligament disease

Autorinnen/Autoren

Lukas Trillig¹, Daniela Eberle¹, Sven Reese², Andrea Meyer-Lindenberg¹

Institute

- 1 Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik, Ludwig-Maximilians-Universität München
- 2 Lehrstuhl für Anatomie, Histologie und Embryologie, Ludwig-Maximilians-Universität München

Schlüsselwörter

Ganganalyse, vorderer Kreuzbandriss, Arthroseprogression, Vergleich TPLO und MMP

Key words

Gait analysis, cranial cruciate ligament disease, osteoarthritis progression, comparison TPLO and MMP

eingereicht 12.05.2022

akzeptiert 30.08.2022

Bibliografie

Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere 2022; 50: 386–398
DOI 10.1055/a-1966-1936
ISSN 1434–1239
© 2022. Thieme. All rights reserved.
Georg Thieme Verlag KG, Rüdigerstraße 14,
70469 Stuttgart, Germany

Korrespondenzadresse

Lukas Trillig
Chirurgische und Gynäkologische Kleintierklinik
Ludwig-Maximilians-Universität München
Veterinärstraße 13
80539 München
Deutschland
lukas.trillig@chir.vetmed.uni-muenchen.de

ZUSAMMENFASSUNG

Gegenstand und Ziel Ziel dieser Studie ist es, die Modified Maquet Procedure (MMP) mit der Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) anhand von Langzeitkontrollen über ein Jahr (Ø 3,15 Jahre) mittels klinischer Untersuchung, röntgenologischer

Beurteilung der Arthroseprogression und Ganganalyse durch Laufbanduntersuchung zu vergleichen. Zusätzliches Ziel ist es, den Einfluss der Erfahrung der Chirurgen bei der TPLO-Technik zu überprüfen.

Material und Methoden Bei dieser klinischen Studie wurden 67 Kniegelenke von 50 Hunden verschiedener Rassen zwischen 20 und 40 Kilogramm Körpergewicht einbezogen, die mittels TPLO beziehungsweise MMP (n = 19) nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes operiert wurden. Die TPLO-Gruppe unterteilte sich in eine Gruppe, welche von 2 erfahrenen Chirurgen (TPLO1, n = 25) operiert wurde und eine zweite Gruppe, die von mehreren Chirurgen unterschiedlicher Erfahrung (TPLO2, n = 23) versorgt wurden. Die Hunde wurden nach mindestens über einem Jahr (3,15 ± 1,21 Jahre) postoperativ orthopädisch, röntgenologisch und ganganalytisch uni- und bilateral getrennt untersucht. Zusätzlich wurden die Daten der Ganganalyse mit einer orthopädisch gesunden Kontrollgruppe verglichen.

Ergebnisse Bei der orthopädischen Untersuchung wurden keine signifikanten und klinisch relevanten Unterschiede zwischen den 3 Gruppen festgestellt.

Die Arthroseprogression zeigte in allen 3 OP-Gruppen ähnliche Werte, wobei die der TPLO2-Gruppe durchschnittlich pro Jahr gerechnet signifikant etwas geringer war als die der TPLO1- und der MMP-Gruppe.

Die ganganalytische Untersuchung im Schritt konnte vor allem im Vergleich mit der gesunden Kontrollgruppe signifikante Unterschiede bei bilateralen Rupturen für die Peak Vertical Force und den Vertical Impulse zeigen. Die Standphasendauer wies keine signifikanten Unterschiede auf. Im Trab konnten keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 OP-Gruppen festgestellt werden.

Schlussfolgerung Beide Operationstechniken erzielten in den 3 Gruppen bei den Langzeitkontrollen gute klinische, radiologische und ganganalytische Ergebnisse auch im Vergleich mit einer gesunden Kontrollgruppe.

Klinische Relevanz Die MMP kann als schnell durchführbare Alternative zur etablierten TPLO mit ebenfalls guten Ergebnissen beim Hund angesehen werden. Die Erfahrung des Chirurgen scheint keinen Einfluss auf das Ergebnis zu haben.

ABSTRACT

Objective This study aims to compare the Modified Maquet Procedure (MMP) with the Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) using long-term follow-up examinations over the period of more than one year (\bar{x} 3,15 years) by clinical examination, radiographic assessment of osteoarthritis progression, and gait analysis by treadmill examination. Additional aim is to review the influence of surgeons' experience in TPLO technique.

Material and methods This clinical study included 67 stiffler joints of 50 dogs of different breeds between 20 and 40 kilograms body weight that were treated by TPLO (n = 48) or MMP (n = 19) following the rupture of the cranial cruciate ligament. The TPLO group was further divided into a group operated by two experienced surgeons (TPLO1, n = 25) and a second group operated by several surgeons with different experience (TPLO2, n = 23). Following a post-operative time period of more than one year in the least (mean, 3.15 ± 1.21 years) orthopedic and radiographic examinations as well as separate unilateral and bilateral gait analyses were conducted. In addition, gait analysis data were compared with an orthopedically healthy control group.

Results No significant and clinically relevant differences were observed between the 3 groups in the results of their orthopedic examination.

Osteoarthritis progression showed similar values in all 3 surgical groups. On average per year this feature was slightly but statistically significantly lower in the TPLO2 group in comparison to the TPLO1 and MMP groups.

Gait analysis during walking exhibited significant differences in bilateral ruptures at the Peak Vertical Force and the Vertical Impulse, especially when compared to the healthy control group. Stance phase duration did not show any significant differences. At trot, no significant differences were found between the 3 surgical groups.

Conclusion Both surgical techniques achieved good clinical, radiological, and gait analysis results in the 3 groups at long-term follow-up, even when compared with a healthy control group.

Clinical relevance MMP can be considered a rapid feasible alternative to the established TPLO method also bearing satisfactory results in dogs. The degree of the surgeon's experience does not seem to influence the outcome.

Einleitung und Zielsetzung

Die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (vKBR) beim Hund ist eine der häufigsten Kniegelenkerkrankungen, die zu Lahmheiten der Hintergliedmaßen führt. Es werden für die chirurgische Versorgung des vKBR viele verschiedene etablierte Möglichkeiten beschrieben. Die Modified Maquet Procedure (MMP), entwickelt von Ness gemeinsam mit der Firma Orthomed [1][2], ist eine Weiterentwicklung der TTA (Tibial Tuberosity Advancement), eingeführt von Montavon und Tepic im Jahr 2002 [3][4]. Die Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO), welche 1993 erstmals von Slocum und Devine Slocum [5] vorgestellt wurde, ist bereits bekannter und etablierter.

Böddecke et al. [6] vermuteten in ihrer Studie, dass sich Hunde nach TPLO im Vergleich zur Kapsel-Faszien-Raffung schneller erholten und 4 Monate postoperativ eine verbesserte Funktion der Gliedmaße hatten. Nach der Studie von Livet et al. [7] schienen Hunde, welche mittels TTA-Rapid versorgt wurden, unmittelbar postoperativ eine schnellere Erholung als die Hunde der TPLO-Gruppe zu zeigen. In dieser Studie konnten bei der Kontrolle nach 6 Monaten keine signifikanten Unterschiede zwischen den beiden Gruppen festgestellt werden. In einer Studie von Moore et al. [8] aus dem Jahr 2020 konnte jedoch gezeigt werden, dass die TPLO im Vergleich zur TTA langfristig bessere röntgenologische Ergebnisse im Hinblick auf die Arthrose-Progression und funktionelle Ergebnisse zu liefern schien.

In einer vorangegangenen Studie von Knebel et al. [9], die die Patienten bis circa 6 Monate nach der Operation untersuchte, konnte, obwohl keine signifikanten Unterschiede zwischen den Operationsmethoden festgestellt wurde, eine Überlegenheit der TPLO-Gruppe in Bezug auf das klinische Ergebnis im Vergleich zur MMP-Gruppe festgestellt werden.

Ziel der vorliegenden Studie war es daher, die Ergebnisse der beiden Verfahren nach einem längeren Zeitraum (frühestens ein

Jahr postoperativ) im Hinblick auf Klinik, Arthroseprogression und Lahmheit zu vergleichen, da es zur MMP bisher keine Langzeitergebnisse gibt und vergleichende Langzeitstudien von MMP und TPLO fehlen. Ein weiteres Ziel war es zu untersuchen, welchen Einfluss die Erfahrung des Chirurgen auf das Ergebnis hat. Dazu wurde eine zusätzliche TPLO-Gruppe, operiert von einer gemischten Gruppe Chirurgen mit unterschiedlich langer OP-Erfahrung, eingeschlossen und den anderen Gruppen gegenübergestellt.

Material und Methoden

Im Rahmen dieser Studie wurden 67 Kniegelenke von 50 Hunden einbezogen, die nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes mittels TPLO (TPLO1 n = 25; TPLO2 n = 23) beziehungsweise MMP (n = 19) an der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik der Ludwig-Maximilians-Universität München operiert wurden. Die Langzeitkontrollen fanden frühestens ein Jahr postoperativ zwischen September 2017 und Februar 2021 statt. Die MMP-Gruppe und TPLO1-Gruppe wurden bereits in der vorangegangenen Studie von Knebel et al. [9] nach ungefähr 6 Monaten untersucht. Diese beiden Gruppen wurden von 2 erfahrenen Chirurgen operiert (Fachtierarzt für Chirurgie und Diplomate ECVS). Um zusätzlich den Einfluss mehrerer Chirurgen (n = 7) mit unterschiedlich langer OP-Erfahrung auf die Ergebnisse zu überprüfen, wurde eine zweite TPLO-Gruppe (TPLO2, n = 23) in die Untersuchung eingeschlossen. Die Erfahrung der Chirurgen variierte in dieser Gruppe von unter 10 (Assistenten) bis weit über 100 (Fachtierarzt für Chirurgie und Diplomate ECVS) durchgeführten TPLOs.

Einschlusskriterium der 50 Hunde unterschiedlicher Rassen war außerdem ein Körpergewicht (KGW) zwischen 20–40 Kilogramm. Die eingeschlossenen Hunde mussten ansonsten orthopädisch gesund sein und durften keine anderen orthopädischen oder neu-

rologischen Erkrankungen aufweisen. Die Patienten wurden frühestens ein Jahr postoperativ orthopädisch, röntgenologisch und ganganalytisch untersucht und mit den Ergebnissen von Knebel et al. [9] sowie untereinander und zusätzlich mit einer gesunden Kontrollgruppe verglichen. Bei beidseitig betroffenen Hunden, bei denen die zweite Seite zum Zeitpunkt der Kontrolle kürzer als ein Jahr zuvor versorgt wurde, wurde nur die erste vor über einem Jahr operierte Gliedmaße bewertet.

Zur Beurteilung der Kreuzbänder und Menisken wurde präoperativ eine Magnetresonanztomografie (MRT) durchgeführt. Im Falle einer medialen Meniskusläsion erfolgte eine mediale Miniarthrotomie kaudal des Seitenbandes und eine partielle Menishektomie.

Orthopädische Untersuchung

Bei der orthopädischen Untersuchung wurde der Lahmheitsgrad (Grad 0–4), die Schmerzhaftigkeit im operierten Kniegelenk, der Schublade- und Tibiakompressionstest sowie eine periphere Weichteil- und mediale Verdickung im Bereich des Kniegelenks (medial buttress) überprüft. Die Hunde wurden im Schritt und Trab untersucht und der Lahmheitsgrad beurteilt. Dabei wurde zwischen einer undeutlich geringgradigen (Grad 1), geringgradigen (Grad 2), mittelgradigen (Grad 3) und hochgradigen (Grad 4) Lahmheit unterschieden. Hunde ohne ersichtliche Lahmheit wiesen eine Lahmheit Grad 0 auf. Der Schublade- und Tibiakompressionstest war entweder negativ oder positiv. Die Weichteil- und knöchernen Verdickung im Bereich des Kniegelenks wurde in gering-, mittel- und hochgradig eingeteilt. Die Untersuchungen bei den Langzeitkontrollen wurden stets vom gleichen Untersucher vorgenommen.

Röntgen/Arthroseprogression

Röntgenologisch wurden die Kniegelenke jeweils in 2 Strahlengängen (mediolateral und kaudokranial) untersucht und hinsichtlich der Arthroseprogression im Vergleich zu den präoperativen sowie den Aufnahmen der 6-Monats-Kontrollen mit dem Schema nach Mager [10][11] ausgewertet. Bei der Auswertung der radiologischen Untersuchungsbefunde wurden alle operierten Kniegelenke berücksichtigt. Die nicht kontrollierten Patienten aus der vorangegangenen Studie von Knebel et al. [9] wurden in der vorliegenden Studie bei den Langzeitkontrollen nicht berücksichtigt. Die präoperativen Befunde wurden daher initial verwendet, um zu kontrollieren, ob die Ausgangsbedingungen für alle 3 OP-Methoden ähnlich waren.

Ganganalyse

Für eine zusätzliche objektive Bewertung wurden die Patienten ganganalytisch im Ganganalyselabor der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik untersucht. Das verwendete Laufband, welches bereits bei den Kurzzeitkontrollen von Knebel et al. [9] verwendet wurde, ist mit 4 modifizierten piezoelektrischen Kistler-Kraftmessplatten sowie einem Kamerasystem (Vicon V-MX Motion Capture) bestehend aus 8 Highspeed-Infrarot-Kameras und 2 Video-Kameras ausgestattet.

Alle erhobenen Daten der beschriebenen Untersuchungen wurden herangezogen, um die Ergebnisse nach den Operationsmethoden miteinander zu vergleichen. Die kinetischen Parameter Peak Vertical Force (PVF in % KGW), Vertical Impulse (VI in % KGW*Se-

kunde) und Standphasendauer (StD in % der gesamten Schrittdauer) wurden zusätzlich mit einer Kontrollgruppe bestehend aus 16 orthopädisch gesunden Labrador Retrievern der gleichen Gewichtsklasse verglichen.

Zusätzlich wurden die Symmetrieindizes für PFV und VI nach Robinson et al. [12] berechnet und anhand etablierter Grenzwerte [9] [13][14][15] ausgewertet, ob ganganalytisch eine Veränderung der Bodenreaktionskräfte erkennbar war. Die Hunde konnten verminderte Belastung der operierten Gliedmaße, der gesunden Gliedmaße oder keine verminderte Belastung in Schritt und Trab aufweisen. Bei beidseitig operierten Hunden, bei denen beide Gliedmaßen dem Kriterium der Langzeitkontrolle entsprachen, wurden im Falle einer verminderten Belastung stets beide Gliedmaßen gleich gewertet.

Statistik

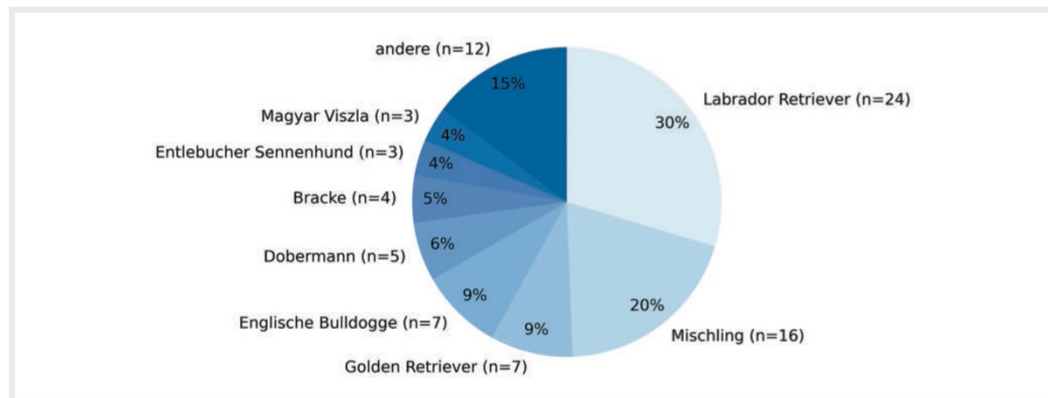
Die Daten der Langzeitkontrollen wurden mit der Statistiksoftware SPSS 26.0 (IBM, Ehningen, Deutschland) ausgewertet. Beim Signalement der Patienten wurde die absolute und relative Häufigkeit angegeben. Bei den Kennwerten der Verteilung der Daten zu Alter und Körpermasse wurden Mittelwert und Standardabweichung berechnet. Mit dem Shapiro-Wilk-Test wurden die Daten auf das Vorliegen einer signifikanten Abweichung von einer Normalverteilung überprüft. Mit Hilfe der Varianzanalyse (ANOVA) wurde berechnet, ob ein signifikanter Unterschied in Bezug auf das Alter und das Körpergewicht im Vergleich der 3 Gruppen und der Kontrollgruppe bestand. Die Zeitspanne bis zur Langzeitkontrolle in den 3 Gruppen wurde mittels ANOVA auf signifikante Unterschiede überprüft. Mittels Chi-Quadrat-Tests wurde die Häufigkeit uni- oder bilateraler Rupturen in den 3 verschiedenen Gruppen auf signifikante Unterschiede überprüft. Die Anzahl der durchgeführten partiellen Menishektomien wurde mittels Chi-Quadrat Test auf signifikante Unterschiede zwischen den 3 OP-Gruppen überprüft. Anhand des Pearson-Korrelationskoeffizienten (r) wurde überprüft, ob ein Zusammenhang zwischen dem Alter oder der Zeitspanne nach der Operation bis zur Langzeitkontrolle und den Parametern der Ganganalyse bestand.

Bei den orthopädischen, radiologischen und ganganalytischen Befunden wurden bei beidseitiger Ruptur des vorderen Kreuzbandes im Vergleich der OP-Methoden immer beide Seiten berücksichtigt, sofern diese frühestens ein Jahr postoperativ kontrolliert wurden.

Da bei der orthopädischen Untersuchung ordinale Daten erhoben wurden, wurde der Mann-Whitney-U-Test verwendet, um zu überprüfen, ob signifikante Unterschiede zwischen den 3 Gruppen vorlagen.

Bei der Beurteilung der Arthroseprogression wurden die präoperativen Befunde initial verwendet, um zu kontrollieren, ob die Ausgangsbedingungen für die 3 OP-Methoden ähnlich waren. Da mittels Shapiro-Wilk-Tests keine Abweichungen von der Normalverteilung gefunden wurden, wurden die radiologischen Befunde mittels ANOVA auf signifikante Unterschiede überprüft.

Die Daten der Ganganalyse im Schritt und Trab wurden nach Überprüfung der Normalverteilung mittels ANOVA im Vergleich der OP-Methoden untereinander überprüft. Im Schritt wurden die Daten auch mit der Kontrollgruppe verglichen. Zusätzlich wurden die Daten im Schritt für uni- und bilaterale Rupturen separat mit-



► **Abb. 1** Tortendiagramm der Rasseverteilung der in der Studie untersuchten Hunde (n = 50) in Prozent. Quelle: L. Trillig.

► **Fig. 1** Pie chart of the breed distribution of the dogs (n = 50) examined in the study in percent. Source: L. Trillig.

tels ANOVA auf signifikante Unterschiede untersucht. Mit dem Chi-Quadrat-Test wurde überprüft, ob es signifikante Unterschiede bei den ganganalytisch ausgewerteten verminderten Belastungen im Schritt zwischen den 3 OP-Gruppen gab. Im Trab wurden diese Daten aufgrund der niedrigeren Anzahl an Hunden nur deskriptiv beschrieben.

Bei allen Signifikanztesten wurden p-Werte unter 0,05 als signifikant gewertet ($p < 0,05$).

Ergebnisse

Insgesamt wurden 67 operierte Kniegelenke von 50 Hunden verschiedener Rassen (► **Abb. 1**) untersucht. Die TPLO1-Gruppe (n = 25), die MMP-Gruppe (n = 19) und die TPLO2-Gruppe (n = 23) waren dabei ähnlich groß. Der Labrador Retriever (n = 15) war insgesamt die am häufigsten vertretene Rasse, gefolgt vom Mischling (n = 9).

Die 25 Hunde der TPLO1-Gruppe waren am Tag der Langzeitkontrolle im Mittel 9,1 Jahre alt ($\pm 2,1$ Jahre) mit einem mittleren Körpergewicht von 31,18 kg ($\pm 5,63$ kg). Die 19 Hunde der MMP-Gruppe hatten ein mittleres Alter von 9,4 Jahren ($\pm 2,8$ Jahre) und ein mittleres Körpergewicht von 31,3 kg ($\pm 5,92$ kg). Bei den Hunden dieser beiden Gruppen gab es in Bezug auf das Körpergewicht ($p = 1,0$) und Alter ($p = 1,0$) keine signifikanten Unterschiede. Die TPLO2-Gruppe war mit einem mittleren Alter von 6,8 Jahren ($\pm 2,76$ Jahre) jünger als die TPLO1-Gruppe und auch als die MMP-Gruppe, was jedoch nicht signifikant war (beide $p = 0,059$). Beim Gewicht konnten keine signifikanten Unterschiede im Vergleich der TPLO2-Gruppe (31,88 kg $\pm 4,66$ kg) mit der MMP-Gruppe oder der TPLO1-Gruppe (beide $p = 1,0$) gefunden werden. Die zum ganganalytischen Vergleich mit den unterschiedlichen OP-Methoden verwendete Kontrollgruppe hatte ein mittleres Alter von 4,1 Jahren ($\pm 1,5$ Jahre) und war damit signifikant jünger als alle anderen Gruppen ($p = 0,008$ bzw. $p < 0,001$). Das mittlere Gewicht der Kontrollgruppe lag bei 30,5 kg ($\pm 5,32$ kg) ohne signifikante Unterschiede zu den 3 anderen Gruppen (alle $p = 1,0$). Das mittlere Alter und Gewicht der 4 Gruppen ist in den ► **Abb. 2** und ► **Abb. 3** dargestellt.

Beidseitige Kreuzbandrupturen waren in der TPLO1-Gruppe (n = 9) und in der TPLO2-Gruppe (n = 10) etwas häufiger vertreten als in der MMP-Gruppe (n = 6). Dieser Unterschied war aber nicht signifikant (Chi-Quadrat Test, $p = 0,637$). Partielle Menishektomien wurden in der TPLO1-Gruppe (n = 17), der TPLO2-Gruppe (n = 9) und der MMP-Gruppe (n = 12) durchgeführt. Hierbei lag kein signifikanter Unterschied in der Häufigkeit zwischen den 3 Gruppen vor ($p = 0,105$).

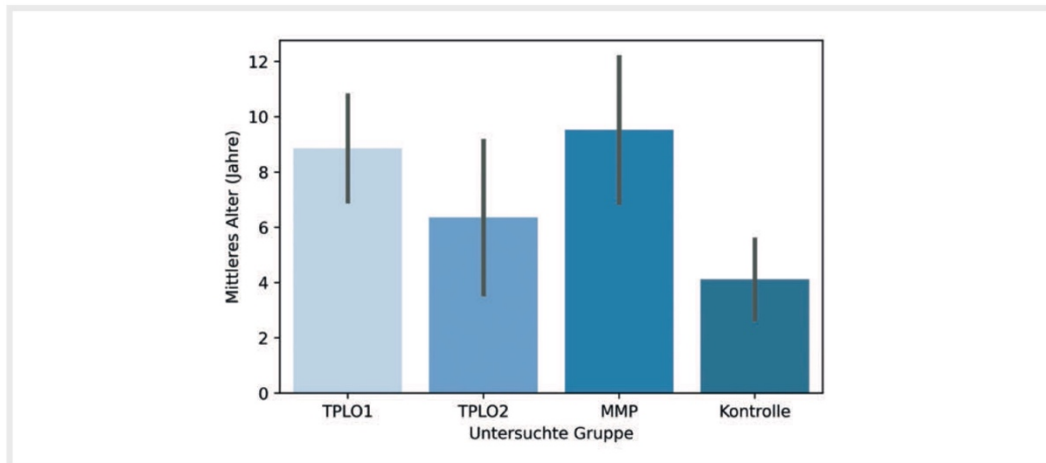
Die Zeitspanne bis zur letzten Kontrolluntersuchung betrug bei den mit der MMP operierten Hunden 3,5 Jahre ($\pm 1,26$ Jahre), bei der TPLO1-Gruppe 3,61 Jahre ($\pm 0,95$ Jahre) und bei der TPLO2-Gruppe 2,36 Jahre ($\pm 1,05$ Jahre). Die kürzere Zeitspanne bei der TPLO2-Gruppe war sowohl im Vergleich zur TPLO1-Gruppe ($p < 0,001$) als auch zur MMP-Gruppe ($p = 0,008$) signifikant. Beim Vergleich der Zeitspanne bis zur letzten Kontrolluntersuchung der MMP-Gruppe mit der TPLO1-Gruppe konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p = 1,0$).

Anhand der Pearson Korrelation konnte ein signifikanter, positiver Zusammenhang zwischen der Zeitspanne bis zur Kontrolluntersuchung und dem VI ($r = 0,33$; $p = 0,007$) sowie der StD ($r = 0,386$; $p = 0,001$) im Schritt festgestellt werden. Das heißt, je später der Zeitpunkt der Kontrolle nach der Operation lag, umso größer wurden auch die Werte des VI und der StD. Für die anderen ganganalytischen Parameter konnten im Schritt und Trab keine signifikanten Zusammenhänge mit der Zeitspanne festgestellt werden (alle $p > 0,05$).

Ebenso konnte ein signifikanter positiver Zusammenhang zwischen dem Alter am Kontrolltag und der StD im Schritt ($r = 0,246$; $p = 0,048$) anhand der Pearson Korrelation festgestellt werden. Das heißt, je älter die Hunde bei der Untersuchung waren, umso länger war die StD. Für die anderen ganganalytischen Parameter konnten im Schritt und Trab keine signifikanten Zusammenhänge mit dem Alter am Kontrolltag festgestellt werden (alle $p > 0,05$).

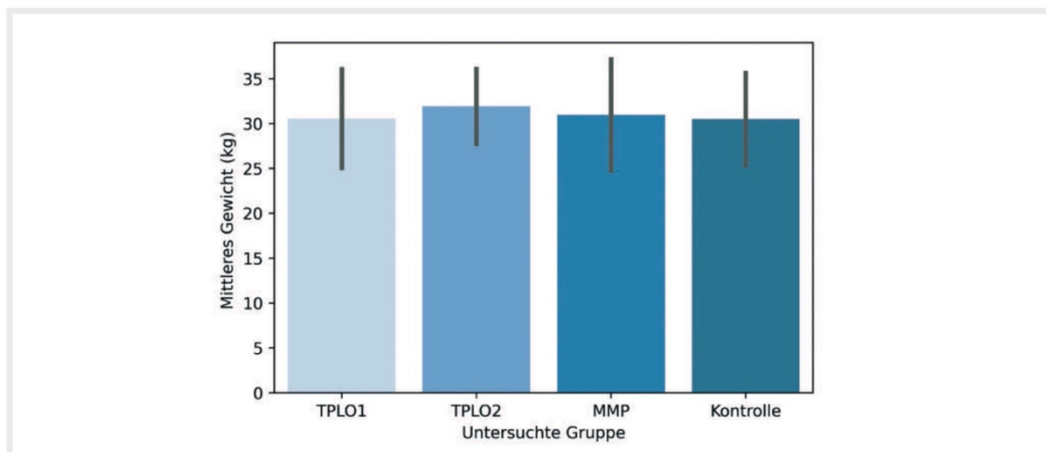
Orthopädische Untersuchung

Insgesamt zeigte nur ein Hund der TPLO2-Gruppe eine undeutlich geringgradige Lahmheit (Grad 1). Dies war jedoch weder im Ver-



► **Abb. 2** Grafische Darstellung des mittleren Alters der 3 OP-Gruppen TPLO1, TPLO2 und MMP sowie der Kontrollgruppe. Die schwarzen Linien stellen die jeweilige Standardabweichung dar. Quelle: L. Trillig.

► **Fig. 2** Graphical representation of the mean age of the 3 surgical groups TPLO1, TPLO2 and MMP as well as the control group. The black lines represent the respective standard deviation. Source: L. Trillig.



► **Abb. 3** Grafische Darstellung des mittleren Gewichts der 3 OP-Gruppen TPLO1, TPLO2 und MMP sowie der Kontrollgruppe. Die schwarzen Linien stellen die jeweilige Standardabweichung dar. Quelle: L. Trillig.

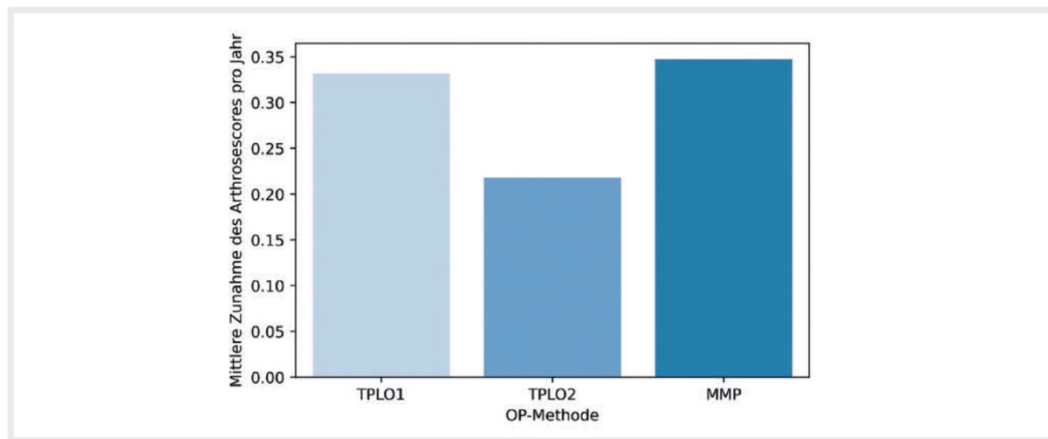
► **Fig. 3** Graphical representation of the mean weight of the 3 OP groups TPLO1, TPLO2 and MMP as well as the control group. The black lines represent the respective standard deviation. Source: L. Trillig.

gleich zur TPLO1-Gruppe ($p = 0,158$) noch zur MMP-Gruppe ($p = 1$) signifikant. Alle anderen Hunde wiesen keine Lahmheit im Schritt und Trab auf.

Im Folgenden wurden bei der orthopädischen Untersuchung immer die operierten Kniegelenke der 3 Gruppen TPLO1 ($n = 25$), TPLO2 ($n = 23$) und MMP ($n = 19$) miteinander verglichen.

Einen positiven Schubladentest wiesen in der MMP-Gruppe 5 von 19 operierten Kniegelenken auf. Dabei fiel dieser einmal ge-

ringgradig und viermal mittelgradig aus. Bei der TPLO1-Gruppe wiesen 11 Kniegelenke einen geringgradig positiven Schubladentest auf, wohingegen bei der TPLO2-Gruppe 6 Kniegelenke einen geringgradig positiven Schubladentest hatten. Bei der MMP-Gruppe konnte weder im Vergleich mit der TPLO1-Gruppe ($p = 0,174$) noch mit der TPLO2-Gruppe ($p = 0,347$) dabei ein signifikanter Unterschied festgestellt werden. Der Vergleich zwischen den beiden TPLO-Gruppen war signifikant ($p = 0,036$). Der Schubladentest der



► **Abb. 4** Die durchschnittlich pro Jahr errechnete mittlere Zunahme des Arthroscores in den 3 OP-Gruppen TPLO1, TPLO2 und MMP. Quelle: L. Trillig.

► **Fig. 4** The mean increase in arthrosis score calculated per year in the 3 surgical groups TPLO1, TPLO2, and MMP. Source: L. Trillig.

gesunden Kniegelenke bei einseitig betroffenen Hunden war stets negativ.

Der Tibiakompressionstest war bei allen Kniegelenken in den 3 Gruppen negativ.

Bei der Palpation des Kniegelenks wurde bei der MMP-Gruppe zweimal eine mittelgradige und achtmal eine geringgradige Weichteil- und knöcherner Verdickung (medial buttress) festgestellt. Eine geringgradige Verdickung konnte bei der TPLO2-Gruppe ($n = 2$) weniger häufig festgestellt werden als bei der TPLO1-Gruppe ($n = 11$), dieser Unterschied war signifikant ($p = 0,003$). Der Unterschied zwischen TPLO2-Gruppe und MMP-Gruppe war hierbei ebenfalls signifikant ($p = 0,001$). Beim Vergleich der Weichteil- und knöchernen Verdickung der MMP-Gruppe mit der TPLO1-Gruppe konnte kein signifikanter Unterschied festgestellt werden ($p = 0,202$).

Eine Schmerzhaftigkeit bei der Untersuchung konnte bei keinem der Kniegelenke in den 3 Gruppen ausgelöst werden.

Röntgen/Arthroseprogression

Der Test auf Abweichungen von der Normalverteilung nach Shapiro-Wilk ergab keine relevanten Abweichungen von der Normalverteilung in der TPLO1-Gruppe ($p = 0,927$), der TPLO2-Gruppe ($p = 0,959$) und der MMP-Gruppe ($p = 0,893$), sodass im Weiteren mit parametrischen Methoden gerechnet werden konnte.

Der präoperative Arthroscore war im Mittel bei der TPLO1-Gruppe ($2,06 \pm 0,48$) etwas höher als bei der MMP-Gruppe ($1,86 \pm 0,45$; $p = 0,518$) und signifikant höher als bei der TPLO2-Gruppe ($1,7 \pm 0,25$; $p = 0,006$). Im Vergleich des präoperativen Arthroscores wurde kein signifikanter Unterschied zwischen MMP-Gruppe und TPLO2-Gruppe festgestellt ($p = 0,407$).

Auch bei der Langzeitkontrolle war der Arthroscore bei der TPLO2-Gruppe ($2,21 \pm 0,32$) signifikant niedriger als bei der TPLO1-Gruppe ($3,1 \pm 0,39$; $p < 0,001$) und der MMP-Gruppe ($2,9 \pm 0,48$; $p < 0,001$). Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der MMP-Gruppe und der TPLO1-Gruppe festgestellt ($p = 0,392$).

Die Arthroseprogression war bei der TPLO2-Gruppe ($0,503 \pm 0,225$) signifikant niedriger als bei der TPLO1-Gruppe ($1,04 \pm 0,277$; $p < 0,001$) und der MMP-Gruppe ($1,035 \pm 0,376$; $p < 0,001$). Es wurde kein signifikanter Unterschied zwischen der MMP-Gruppe und der TPLO1-Gruppe festgestellt ($p = 1,0$). Da der Zeitpunkt der Langzeitkontrolle bei der TPLO2-Gruppe signifikant früher war als bei der TPLO1- und der MMP-Gruppe, wurde zusätzlich die durchschnittliche Arthroseprogression der jeweiligen OP-Methode pro Jahr berechnet (► **Abb. 4**). Diese war auch hier bei der TPLO2-Gruppe ($0,0219 \pm 0,071$) signifikant niedriger als bei der TPLO1-Gruppe ($0,322 \pm 0,157$; $p = 0,021$) und der MMP-Gruppe ($0,344 \pm 0,216$; $p = 0,042$).

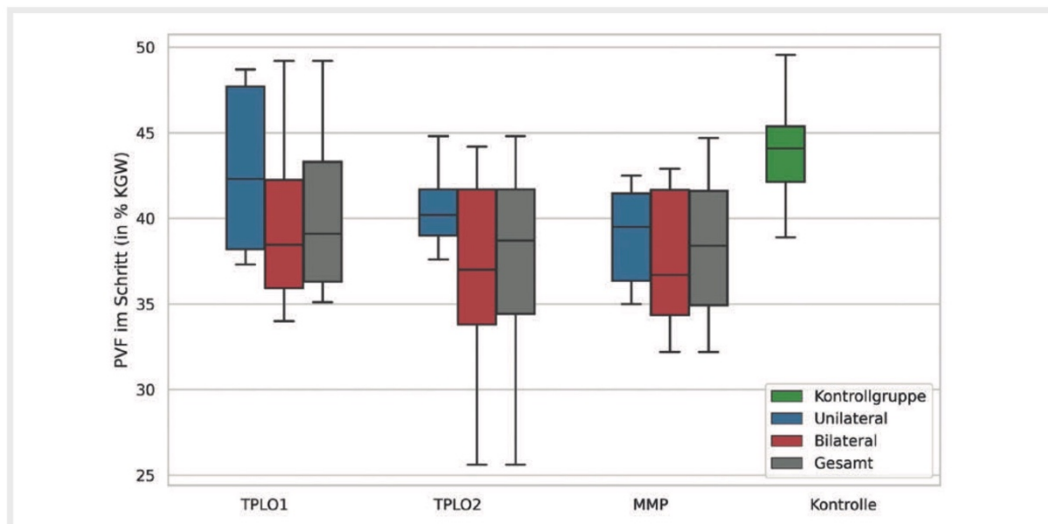
Ganganalyse

Schritt

Die ► **Abb. 5**, ► **Abb. 6** und ► **Abb. 7** zeigen die Daten der Ganganalyse im Schritt für PVF, VI und StD der 3 verschiedenen OP-Methoden getrennt für einseitig und beidseitig operierte Hunde. Die Werte der Kontrollgruppe wurden aus beiden Gliedmaßen gemittelt.

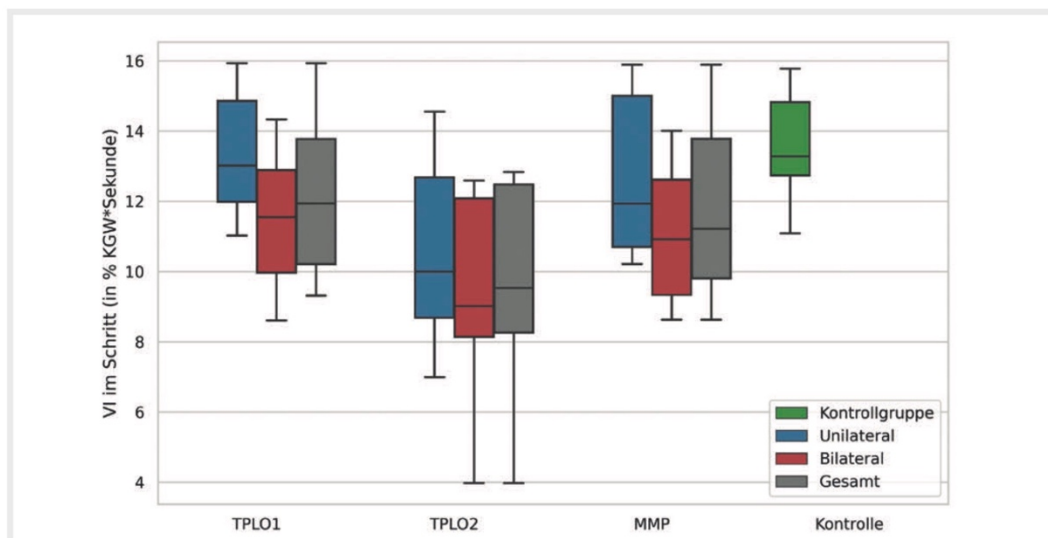
Zum Zeitpunkt der Langzeitkontrollen konnten bei der Ganganalyse im Schritt bei unilateral operierten Hunden beim Vergleich der PVF (► **Abb. 5**) signifikante Unterschiede zwischen der MMP-Gruppe ($39,04 \pm 3,88$) und der Kontrollgruppe gefunden werden ($p = 0,049$). Bei bilateral operierten Hunden gab es bei der PVF signifikante Unterschiede beim Vergleich der Kontrollgruppe mit der TPLO2-Gruppe ($35,88 \pm 6,17$; $p = 0,001$) sowie der MMP-Gruppe ($38,46 \pm 5,39$; $p = 0,038$). Das bedeutet, dass die Kontrollgruppe in diesen Vergleichen signifikant höhere Kraftwerte der PVF erreicht.

Beim VI (► **Abb. 6**) konnten im Schritt bei unilateral operierten Hunden keine signifikanten Unterschiede zwischen den 3 Gruppen gefunden werden. Bei bilateral operierten Hunden wurden signifikante Unterschiede zwischen der TPLO2-Gruppe ($10,27 \pm 4,37$)



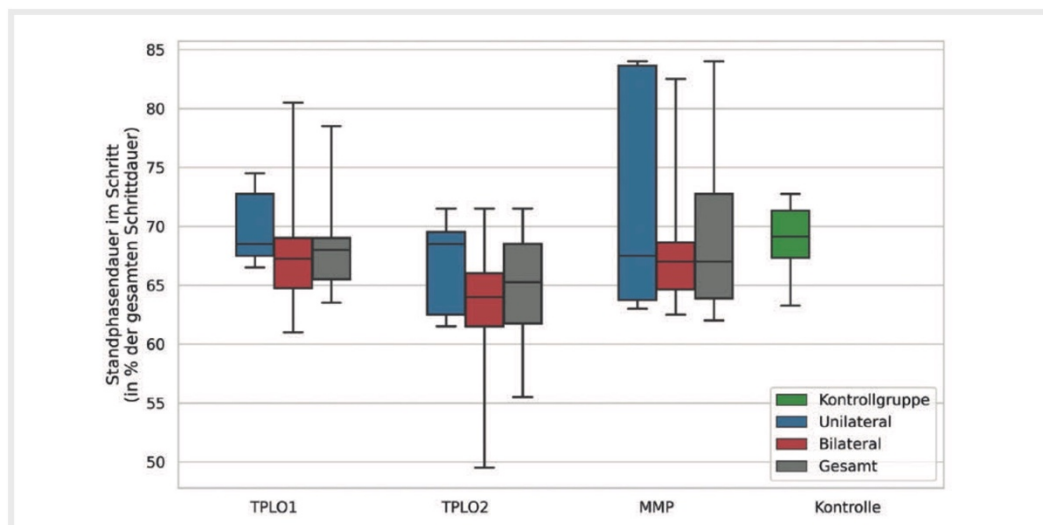
► **Abb. 5** Ergebnisse der PVF (% KGW) im Schritt für die 3 OP-Methoden TPLO1, TPLO2 und MMP getrennt für uni- und bilateral operierte Hunde, sowie die Kontrollgruppe. Die farblichen Boxen zeigen das 25%-75%-Quantil der Werte in den jeweiligen Gruppen an. Der Median ist als schwarzer Querstrich in den farblichen Boxen markiert. Die Antennen stellen das 5%-95%-Quantil der Werte dar. Quelle: L. Trillig.

► **Fig. 5** PVF (% KGW) results in walk for the 3 surgical methods TPLO1, TPLO2 and MMP separately for unilaterally and bilaterally operated dogs, as well as the control group. The colored boxes indicate the 25%-75% quantile of the values in the respective groups. The median is marked as a black horizontal bar in the colored boxes. The antennas represent the 5%-95% quantile of the values. Source: L. Trillig.



► **Abb. 6** Ergebnisse des VI (% KGW* Sekunde) im Schritt für die 3 OP-Methoden TPLO1, TPLO2 und MMP getrennt für uni- und bilateral operierte Hunde, sowie die Kontrollgruppe. Die farblichen Boxen zeigen das 25%-75%-Quantil der Werte in den jeweiligen Gruppen an. Der Median ist als schwarzer Querstrich in den farblichen Boxen markiert. Die Antennen stellen das 5%-95%-Quantil der Werte dar. Quelle: L. Trillig.

► **Fig. 6** Results of VI (% KGW*second) in walk for the 3 surgical methods TPLO1, TPLO2 and MMP separately for unilaterally and bilaterally operated dogs, as well as the control group. The colored boxes indicate the 25%-75% quantile of the values in the respective groups. The median is marked as a black horizontal bar in the colored boxes. The antennas represent the 5%-95% quantile of the values. Source: L. Trillig.



► **Abb. 7** Ergebnisse der Standphasendauer (%) im Schritt für die 3 OP-Methoden TPLO1, TPLO2 und MMP getrennt für uni- und bilateral operierte Hunde, sowie die Kontrollgruppe. Die farblichen Boxen zeigen das 25%–75%-Quantil der Werte in den jeweiligen Gruppen an. Der Median ist als schwarzer Querstrich in den farblichen Boxen markiert. Die Antennen stellen das 5%–95%-Quantil der Werte dar. Quelle: L. Trillig.

► **Fig. 7** Results of stance phase duration (%) in walk for the 3 surgical methods TPLO1, TPLO2 and MMP separately for unilaterally and bilaterally operated dogs, as well as the control group. The colored boxes indicate the 25%–75% quantile of the values in the respective groups. The median is marked as a black horizontal bar in the colored boxes. The antennas represent the 5%–95% quantile of the values. Source: L. Trillig.

und der Kontrollgruppe gefunden werden ($p < 0,001$). Bei diesem Vergleich wies die Kontrollgruppe also signifikant größere Kraftwerte des VI gegenüber der TPLO2-Gruppe auf. Die anderen Vergleiche wiesen keine signifikanten Unterschiede auf (alle $p > 0,05$).

Weder bei unilateralen noch bei bilateralen Rupturen gab es bei der StD (► **Abb. 7**) im Vergleich der 4 Gruppen signifikante Unterschiede (alle $p > 0,05$).

Nach Berechnung des Symmetrieindex zeigten bei der Ganganalyse im Schritt in der TPLO1-Gruppe 8 Hunde eine verminderte Belastung der operierten Gliedmaße, 3 eine verminderte Belastung der gesunden Gliedmaße und 5 keine Asymmetrie. In der TPLO2-Gruppe wiesen 7 Hunde eine verminderte Belastung der operierten Gliedmaße, 5 eine verminderte Belastung der gesunden Seite und 6 keine Asymmetrie auf. In der MMP-Gruppe zeigten 6 Hunde eine verminderte Belastung der operierten Gliedmaße, ebenso 6 eine verminderte Belastung der gesunden Seite und zwei keine Asymmetrie. Hierbei lag kein signifikanter Unterschied zwischen den 3 OP-Gruppen vor ($p = 0,565$).

Trab

Aufgrund der Größe der Tiere und ihrer Schrittlänge im Verhältnis zur Fläche des Laufbandes sowie fehlender Kooperation wurden nur 47,7% ($n = 31$) der Kniegelenke im Trab beurteilt. Die Vergleiche der Ganganalyse im Trab erfolgten aufgrund der geringeren Fallzahl nicht getrennt für uni- und bilateral betroffene Hunde, sondern stets gesamt für die entsprechenden OP-Gruppen (► **Tab. 1**).

Zum Zeitpunkt der Langzeitkontrollen konnten bei der Ganganalyse im Trab keine signifikanten Unterschiede bei der PVF, dem

VI und der StD zwischen den 3 OP-Gruppen nachgewiesen werden (alle $p > 0,05$).

Nach Berechnung der Symmetrieindizes zeigten bei der Ganganalyse im Trab in der TPLO1-Gruppe 4 Hunde eine verminderte Belastung der operierten Gliedmaße und 2 Hunde zeigten keine Asymmetrie; eine verminderte Belastung der gesunden Seite wurde nicht beobachtet. In der TPLO2-Gruppe wiesen 2 Hunde eine verminderte Belastung der operierten Gliedmaße, 2 Hunde eine verminderte Belastung der gesunden Seite und 3 Hunde keine Asymmetrie auf. In der MMP-Gruppe zeigten 5 Hunde eine verminderte Belastung der operierten Gliedmaße, 2 keine Asymmetrie und einer eine verminderte Belastung der gesunden Seite.

Diskussion

Die TPLO ist ein weit verbreitetes Verfahren zur chirurgischen Therapie des vKBR mit überwiegend guten Ergebnissen [16][17]. Auch die TTA ist eine etablierte Methode zur chirurgischen Versorgung eines vKBR beim Hund mit guten Ergebnissen [16][18]. Die neuere MMP als Weiterentwicklung der TTA kann bereits bei Kurzzeitstudien ebenso gute Ergebnisse aufweisen [2][9][19]. Knebel et al. [9] konnten bei Kontrollen 6 Monate postoperativ zeigen, dass die MMP im Vergleich zu TPLO gute klinische, radiologische und ganganalytische Ergebnisse erzielte. In einer Studie von Della Valle et al. [20] von 2021 konnten ebenfalls gute ganganalytische Ergebnisse 90 Tage postoperativ bei Hunden, welche mittels MMP versorgt wurden, nachgewiesen werden. In der Studie von Krottscheck et al. [21] erreichten Patienten nach TPLO schon nach ca.

► **Tab. 1** Ergebnisse der PVF, VI und StD im Trab für die 3 OP-Methoden TPLO1, TPLO2 und MMP. Es werden die absoluten Zahlen der Kniegelenke (n) und die Mittelwerte \pm Standardabweichung angegeben.

► **Table 1** Results of PVF, VI and StD at trot for the 3 OP methods TPLO1, TPLO2 and MMP. The absolute numbers of stifle joints (n) and the mean values \pm standard deviation are given.

OP-Methode		TPLO1	TPLO2	MMP
PVF	n	11	8	12
	MW \pm SD	54,17 \pm 3,72	50,6 \pm 5,54	52,32 \pm 6,72
VI	n	11	8	12
	MW \pm SD	10,63 \pm 3,07	10,45 \pm 2,03	11,45 \pm 5,94
StD	n	11	8	12
	MW \pm SD	61,23 \pm 11,56	61,5 \pm 4,29	64,96 \pm 13,99

PVF = peak vertical force, VI = vertical impulse, StD = Standphasendauer, TPLO = tibial plateau leveling osteotomy, MMP = modified maquet procedure, n = absolute Zahl, MW = Mittelwert, SD = Standardabweichung

PVF = peak vertical force, VI = vertical impulse, StD = stance phase duration, TPLO = tibial plateau leveling osteotomy, MMP = modified maquet procedure, n = absolute number, MW = mean, SD = standard deviation

6 Monaten postoperativ normale Bodenreaktionskräfte im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe im Gegensatz zu Patienten nach TTA oder extrakapsulärem Bandersatz, welche erst nach einem Jahr Werte erzielen konnten, wie sie bei einer gesunden Kontrollgruppe vorlagen.

Auch die Untersuchungsergebnisse von Böddeker et al. [6] und Nelson et al. [22] konnten bei Kontrollen bis zu einem Jahr postoperativ eine schnellere normale Funktion der Gliedmaße des mittels TPLO operierten Kniegelenkes im Gegensatz zu extrakapsulären Techniken feststellen. Bei kleineren Hunderassen stellt die chirurgische Versorgung eines vKBR mittels TPLO ebenfalls eine adäquate Methode dar. Studien von Berger et al. [23] und Amimoto et al. [24] konnten eine Überlegenheit der TPLO gegenüber einer extrakapsulären Methode bei kleineren Hunderassen unter 15 Kilogramm bei der Ganganalyse 6 Monate nach der Operation feststellen. In der eigenen Studie wurden bei mittelgroßen Hunden zwischen 20–40 kg nach chirurgischer Versorgung eines vKBR mittels TPLO oder MMP neben der orthopädischen und der röntgenologischen Beurteilung der Arthroseprogression ebenso die Bodenreaktionskräfte PVF, VI und StD untersucht. Hierbei konnte ein positiver Zusammenhang zwischen der Zeitspanne bis zur Kontrolle und den Bodenreaktionskräften VI und StD nachgewiesen werden. Dies zeigt, dass die Hunde auch nach längerer Zeitspanne nach den Operationen unabhängig von der OP-Methode (TPLO oder MMP) zunehmend gute Werte bei der Belastung der operierten Gliedmaße aufwiesen, was bereits andere Studien für kürzere Zeitspannen zeigen konnten [9][25][26].

Beim Vergleich von TPLO mit einer modifizierten TTA konnten Livet et al. [7] zeigen, dass beide OP-Methoden 6 Monate postoperativ gute, vergleichbare ganganalytische Ergebnisse erzielten. Voss et al. [27] zeigten in ihrer Studie jedoch anhand von Kontrollen mittels Ganganalyse bis zu 16 Monate nach der Operation, dass Hunde nach Ruptur des kranialen Kreuzbandes, welche mittels TTA versorgt wurden, zwar eine signifikante Verbesserung, jedoch keine vollständige Rekonvaleszenz der Gliedmaßenfunktion zeigten.

Die Hunde in der hier vorliegenden Studie zeigten sowohl in den beiden TPLO-Gruppen als auch in der MMP-Gruppe nach Auswertung der Ganganalyse eine gute Gliedmaßenfunktion verglichen mit der gesunden Kontrollgruppe. Auch die Operation durch unterschiedlich erfahrene Chirurgen in der TPLO2-Gruppe hatte keinen Einfluss auf die Ergebnisse. Die unterschiedliche Erfahrung der Chirurgen in der TPLO2-Gruppe stellt eine weitere Limitation dieser Studie dar. Alle Chirurgen haben bereits Erfahrungen mit anderen Osteosynthesen gesammelt und bei mehreren TPLOs assistiert. Es handelt sich also nicht um gänzlich unerfahrene Chirurgen, sondern um Chirurgen mit unterschiedlicher Erfahrung. Überprüft wurde daher, ob eine heterogene Gruppe von Chirurgen (TPLO2-Gruppe) vergleichbare Ergebnisse wie die TPLO1-Gruppe (bestehend ausschließlich aus Fachtierarzt für Chirurgie und Diplomate ECVS) erzielen kann. Da der individuelle Lerneffekt jedoch nicht berücksichtigt werden kann, ist es schwierig die Erfahrung genauer zu definieren.

Da die intra- und postoperativen Komplikationen bereits in der vorangegangenen Studie beschrieben wurden [9], wurden sie in der vorliegenden Studie nicht weiter berücksichtigt. Eine zusätzliche Limitation der vorliegenden Studie stellt zudem die Nichtberücksichtigung der Komplikationen speziell in der TPLO2-Gruppe dar. Daher konnten auch die Folgen dieser Komplikationen, wie zum Beispiel vermehrte Arthroseprogression, und deren Einfluss auf die eigenen Ergebnisse in der vorliegenden Langzeitkontrolle nicht näher betrachtet werden.

Die vorliegenden, bei Langzeitkontrollen erzielten ganganalytischen Ergebnisse können die Daten von Untersuchungen anderer Studien nach ungefähr 6 Monaten bestätigen [7][9][26][28]. Dies zeigt, dass auch nach längerer Zeitspanne nicht mit einer signifikanten Verschlechterung zu rechnen ist. Aktuell gibt es keine weiteren Langzeitstudien, welche die TPLO und die MMP nach vKBR miteinander und zusätzlich mit einer Kontrollgruppe vergleichen.

Die geringe Anzahl trabender Hunde bei der eigenen Laufbanduntersuchung lässt sich mit den Limitationen durch das Laufband, wie zum Beispiel die Größe der Tiere im Verhältnis, Schrittlänge

und Kooperation der Tiere im Trab erklären. Bei der Studie von Voss et al. [15] stellten die Autoren fest, dass eine Ganganalyse im Trab eine höhere Sensitivität und Spezifität als im Schritt aufweist, aber dennoch eine Übereinstimmung der Ganganalysen im Schritt und Trab besteht. Evans et al. [29] zeigten, dass es schwieriger ist, repräsentative Werte im Trab zu erfassen und dass aber die Ergebnisse der Ganganalysen im Schritt und Trab bei Hunden mit Ruptur des vorderen Kreuzbandes sehr gut korrelieren. Deshalb kann bei der vorliegenden Studie von einer guten Aussagekraft der Ganganalysedaten im Schritt ausgegangen werden. Zusätzlich können diese Ergebnisse trotz der kleineren Patientenzahl bei der Ganganalyse im Trab bestätigt werden.

Insgesamt wurden in der vorliegenden Studie für alle 3 OP-Gruppen gute Ergebnisse erzielt und bis auf eine Ausnahme in der TPLO2-Gruppe waren alle Hunde klinisch lahmheitsfrei. Zur Überprüfung der klinischen, postoperativen Stabilität der Kniegelenke wurde der Tibiakompressionstest durchgeführt und konnte bei allen Kniegelenken als negativ bewertet werden. Der Schubladentest wurde durchgeführt und notiert, aber hinsichtlich seiner geringen klinischen Relevanz für die postoperative Situation nicht weiter bewertet [30]. Andere Studien konnten in vivo bereits zeigen, dass auch nach chirurgischer Versorgung mittels TPLO oder TTA weiterhin eine kraniokaudale Instabilität vorliegen kann [31][32]. Shimada et al. [33] stellten fest, dass die TPLO bei gleichzeitiger Kompression auf das Kniegelenk eine Stabilität der kraniokaudalen Bewegung erzielt, wie es bei physiologischer Belastung der Gliedmaße und dem Tibiakompressionstest der Fall ist. Dies zeigt, dass der Schubladentest postoperativ nicht zur Beurteilung der Stabilität des Kniegelenks herangezogen werden sollte. Auch die Ergebnisse der vorliegenden Studie zeigen, dass bei vielen operierten Kniegelenken der Schubladentest positiv sein kann, wohingegen der Tibiakompressionstest negativ sein muss, um gute ganganalytische Ergebnisse zu erzielen. Präoperativ sollten stets beide Tests zur Beurteilung einer Kreuzbandpathologie durchgeführt werden, wobei eine Untersuchung in Narkose eine höhere Sensitivität aufweist als am wachen Patienten [34]. Bei den eigenen Langzeitkontrollen wurden die Untersuchungen immer am wachen Patienten durchgeführt.

In der eigenen Studie war der Labrador Retriever mit 15 Tieren die am häufigsten vertretene Rasse, weshalb die Daten der Ganganalyse sehr gut mit der Kontrollgruppe bestehend aus 16 Labrador Retrievern verglichen werden können. Auch bei der Studie von Della Valle et al. [20] war der Labrador die am häufigsten vertretene Rasse gefolgt vom Mischling, genauso wie bei Studien, welche verschiedene Operationsmethoden miteinander vergleichen [7][8][9]. Dementsprechend kann die eigene Population als repräsentativ angesehen werden.

In der vorliegenden Studie lagen zwischen den 3 OP-Gruppen und der Kontrollgruppe keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Körpergewichts vor, was eine gute Ausgangslage zur Beurteilung der weiteren erhobenen Daten liefert. Bei einer Studie zur Planung des MMP-Keils von Kapler et al. [35] war die Gewichtsklasse der Hunde mit $33,4 \pm 7,4$ kg Körpergewicht in einer vergleichbaren Größenordnung. Auch Della Valle et al. [20] untersuchten bei ihrer ganganalytischen Studie Hunde einer ähnlichen Gewichtsklasse ($36 \pm 8,4$ kg), welche mittels MMP versorgt wurden. Andere OP-Methoden (TPLO, MMP, TTA und extrakapsuläre Techniken)

vergleichende Studien hatten eine Population in einer ähnlichen Gewichtsklasse [9][21], weshalb die Langzeitergebnisse der eigenen Studie gut mit den Ergebnissen der zuvor genannten Studien vergleichbar sind.

Alle Patienten wurden präoperativ mittels MRT auf sekundäre Meniskuläsionen untersucht. Partielle Meniskektomien wurden in allen 3 OP-Gruppen durchgeführt und es gab keine signifikanten Unterschiede. Mit 57 % der operierten Kniegelenke lag die Anzahl der partiellen Meniskektomien in der gleichen Größenordnung wie bereits von anderen Studien beschrieben [36][37]. Der Einfluss der partiellen Meniskektomie wurde aufgrund dieser vergleichbaren Ergebnisse nicht weiter berücksichtigt. Es ist anderen Studien vorbehalten, den Einfluss der sekundären Meniskuläsion auf die Ergebnisse der Langzeitkontrollen zu untersuchen.

Bereits andere Studien konnten belegen, dass studienabhängig bis zu 61,3 % [38][39][40] aller Hunde mit Ruptur des vorderen Kreuzbandes bilateral betroffen sind. Die vorliegende Studie konnte mit genau der Hälfte aller Hunde die Häufigkeit des Auftretens bilateraler Kreuzbandrisse bestätigen. Bei Studien mit ausschließlich unilateral betroffenen Hunden waren die Patientenzahlen stets kleiner [28][41]. Wenn man in der eigenen Studie nur die unilateral betroffenen Hunde auswertet, ist die Population dementsprechend auch deutlich kleiner ($n = 25$). Bei klinischen Studien ist es in Bezug auf die Ergebnisse sinnvoll zwischen uni- und bilateral betroffenen Tieren zu unterscheiden, aber auch beide Gruppen zu untersuchen, da dies dem klinischen Alltag entspricht. Beer et al. [42] zeigten jedoch, dass bei nur knapp 10 % der untersuchten Hunde in verschiedenen Studien zu TPLO und TTA bilateral von einem Kreuzbandriss betroffen waren. Auch bei aktuellen Studien zur MMP wurden deutlich weniger bilateral betroffene Hunde untersucht, als es dem klinischen Bild entspricht [9][20]. Dies kann daran liegen, dass in den anderen Studien lediglich unilateral betroffene Hund berücksichtigt wurden oder die Zeitspanne bis zur Abschlusskontrolle zu kurz war, sodass die zweite Gliedmaße noch nicht erkrankt war. Die Auswertung bilateral betroffener Hunde kann vor allem bei Kurzzeitkontrollen schwieriger sein als bei unilateral betroffenen Tieren, da berücksichtigt werden muss, ob die zweite operierte Seite bereits vollständig verheilt ist und das Tier diese wieder vollständig normal belastet. Deshalb wurden in der eigenen Studie die OP-Methoden getrennt für uni- und bilateral betroffene Hunde untersucht. Da es sich um eine Langzeitkontrolle handelt, konnten zudem bei bilateral betroffenen Hunden beide Gliedmaßen berücksichtigt werden. Außerdem wurde bei unilateral betroffenen Hunden vor der Untersuchung der Langzeitkontrolle überprüft, dass die kontralaterale Seite keine Hinweise auf eine Kreuzbandruptur aufweist.

Während in der orthopädischen Untersuchung der eigenen Studie nur ein Hund der TPLO1-Gruppe als lahm eingestuft wurde, konnten nach Berechnung des Symmetrieindex [12] zusammen mit etablierten Grenzwerten [9][13][14][15] bei deutlich mehr Hunden geringere Bodenreaktionskräfte und somit verminderte Belastung im Schritt und Trab nach den ganganalytischen Parametern festgestellt werden. Anhand der Bodenreaktionskräfte kann die Ganganalyse als objektiver und auch als sensitiver eingestuft werden als die klinische Beurteilung. Bereits andere Studien konnten dies zeigen und außerdem, dass keine gute Korrelation zwischen objektiver und subjektiver Lahmheitsbeurteilung besteht [43][44][45]. Verschiedene Studien konnten zeigen, dass bei Hunden mit patholo-

gischen Veränderungen an den Hintergliedmaßen eine Gewichtsverlagerung auf die Vordergliedmaßen bzw. auf die kontralaterale Seite und somit Veränderungen der Bodenreaktionskräfte stattfinden [46]. Es ist daher möglich, dass die Werte der Bodenreaktionskräfte und der Symmetrieindizes der eigenen Studie außerhalb der Referenzbereiche fallen und somit zu einer falsch positiven Einteilung der Belastung bei der Ganganalyse führen. Wegen der geringen Fallzahl im Trab wurden in der vorliegenden Studie uni- und bilateral betroffene Hunde nicht getrennt voneinander untersucht, was aufgrund der zuvor genannten Gründe eine Limitation der eigenen Studie darstellt. Die Ergebnisse im Trab sollten daher kritisch bewertet werden. In weiteren Studien sollte dies getrennt für uni- und bilateral betroffene Hunde untersucht werden.

Budsberg [47] konnte in einer experimentellen Studie feststellen, dass Arthrose im Kniegelenk nach Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes zu einer Verminderung der Bodenreaktionskräfte führt. In der eigenen Studie sollte die Arthroseprogression deshalb als mögliches Einflusskriterium auf die Bodenreaktionskräfte in Betracht gezogen werden.

Bei Langzeitkontrollen bis zu 36 Monate postoperativ konnten Shimada et al. [48] in ihrer Studie zeigen, dass bei Hunden, welche nach Kreuzbandruptur mittels TPLO versorgt wurden, zwar eine signifikante Progression der Arthrose aber dennoch eine Verbesserung der Gliedmaßenbelastung stattfand. Dies konnte bei der hier vorliegenden Studie sowohl für die beiden TPLO-Gruppen als auch für die MMP-Gruppe bestätigt werden. Trotz stabiler operativer Versorgung nach Ruptur des vorderen Kreuzbandes ist also mit einer Progression der Arthrose zu rechnen [9][48], aber bei zeitnaher chirurgischer Versorgung mittels einer der hier angewendeten OP-Methoden kann eine nahezu normale Funktion und Belastbarkeit der Gliedmaßen auch langfristig hergestellt werden.

FAZIT FÜR DIE PRAXIS

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ergebnisse dieser Studie keine eindeutigen Hinweise auf eine Überlegenheit einer der Operationsmethoden zur chirurgischen Versorgung einer Ruptur des vorderen Kreuzbandes bei Hunden mit einem Körpergewicht von 20–40 Kilogramm liefern und die Erfahrung des Chirurgen keinen Einfluss auf das Ergebnis zu haben scheint. Trotz stabiler, chirurgischer Versorgung mittels einer der hier angewendeten OP-Methoden ist mit einer Arthroseprogression zu rechnen, wobei jedoch in allen Gruppen gute klinische und ganganalytische Ergebnisse erzielt wurden.

Interessenkonflikt

Es besteht kein Interessenkonflikt der Autoren.

Literatur

- [1] Ness MG. OrthoFoam MMP Wedge. For Canine Cruciate Cruciate Disease. User Guide (Version V1.1). Orthomed. 2011: Available from: www.orthomed.co.uk.
- [2] Ness MG. The Modified Maquet Procedure (MMP) in Dogs: Technical Development and Initial Clinical Experience. *J Am Anim Hosp Assoc.* 2016;52(4):242–250.
- [3] Montavon PM, Damur DM, Tepic S. 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). 2002:152.
- [4] Tepic S, Damur DM, Montavon PM. Biomechanics of the stifle joint. Proceedings of the 1st World Orthopaedic Veterinary Congress, Munich, Germany, September 5th – 8th (Abstract). 2002:189–190.
- [5] Slocum B, Devine Slocum T. Tibial plateau leveling osteotomy for repair of cranial cruciate ligament rupture in the canine. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 1993;23(4):777–795.
- [6] Böttdeker J, Druen S, Meyer-Lindenberg A, et al. Computer-assisted gait analysis of the dog: comparison of two surgical techniques for the ruptured cranial cruciate ligament. *Vet Comp Orthop Traumatol : VCOT.* 2012;25(1):11–21.
- [7] Livet V, Baldinger A, Viguier É, et al. Comparison of Outcomes Associated with Tibial Plateau Levelling Osteotomy and a Modified Technique for Tibial Tuberosity Advancement for the Treatment of Cranial Cruciate Ligament Disease in Dogs: A Randomized Clinical Study. *Vet Comp Orthop Traumatol : VCOT.* 2019;32(4):314–323.
- [8] Moore EV, Weeren R, Paek M. Extended long-term radiographic and functional comparison of tibial plateau leveling osteotomy vs tibial tuberosity advancement for cranial cruciate ligament rupture in the dog. *Vet Surg : VS.* 2020;49(1):146–154.
- [9] Knebel J, Eberle D, Steigmeier-Raith S, et al. Outcome after Tibial Plateau Levelling Osteotomy and Modified Maquet Procedure in Dogs with Cranial Cruciate Ligament Rupture. *Vet Comp Orthop Traumatol : VCOT.* 2020;33(3):189–197.
- [10] Mager FW. Zur Kniegelenksarthrose des Hundes nach vorderer Kreuzbandruptur – ein retrospektiver Vergleich dreier Operationsmethoden [Diss. med. vet.]. München2000.
- [11] Wessely M, Brühshwein A, Schnabl-Feichter E. Evaluation of Intra- and Inter-observer Measurement Variability of a Radiographic Stifle Osteoarthritis Scoring System in Dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol : VCOT.* 2017;30(6):377–384.
- [12] Robinson RO, Herzog W, Nigg BM. Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation on gait symmetry. *J Manipulative Physiol Ther.* 1987;10(4):172–176.
- [13] Pietsch S, Steigmeier-Raith S, Reese S, et al. Reliability of kinetic measurements of healthy dogs examined while walking on a treadmill. *Am J of Vet Res.* 2020;81(10):804–809.
- [14] Wagmeister P, Steigmeier-Raith S, Reese S, et al. Compensatory Changes in Ground Reaction Forces in Small and Large Breed Dogs with Unilateral Hindlimb Lameness in Comparison to Healthy Dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol : VCOT.* 2022;35(2):105–111.
- [15] Voss K, Imhof J, Kaestner S, et al. Force plate gait analysis at the walk and trot in dogs with low-grade hindlimb lameness. *Vet Comp Orthop Traumatol : VCOT.* 2007;20(4):299–304.
- [16] Boudrieau RJ. Tibial plateau leveling osteotomy or tibial tuberosity advancement? *Vet Surg : VS.* 2009;38(1):1–22.
- [17] de Medeiros M, Sanchez Bustinduy M, Radke H, et al. Early kinematic outcome after treatment of cranial cruciate ligament rupture by tibial plateau levelling osteotomy in the dog. *Vet Comp Orthop Traumatol : VCOT.* 2011;24(3):178–184.

- [18] Hoffmann DE, Miller JM, Ober CP, et al. Tibial tuberosity advancement in 65 canine stifles. *Vet Comp Orthop Traumatol* : VCOT. 2006;19(4):219–227.
- [19] Lefebvre MD, Broux OR, Barthélémy NP, et al. Risk factors for tibial damage associated with the modified Maquet technique in 174 stifles. *Vet Surg* : VS. 2018;47(1):30–35.
- [20] Della Valle G, Caterino C, Aragosa F, et al. Outcome after Modified Maquet Procedure in dogs with unilateral cranial cruciate ligament rupture: Evaluation of recovery limb function by use of force plate gait analysis. *PLoS one*. 2021;16(8):e0256011.
- [21] Krotscheck U, Nelson SA, Todhunter RJ, et al. Long Term Functional Outcome of Tibial Tuberosity Advancement vs. Tibial Plateau Leveling Osteotomy and Extracapsular Repair in a Heterogeneous Population of Dogs. *Vet Surg* : VS. 2016;45(2):261–268.
- [22] Nelson SA, Krotscheck U, Rawlinson J, et al. Long-term functional outcome of tibial plateau leveling osteotomy versus extracapsular repair in a heterogeneous population of dogs. *Vet Surg* : VS. 2013;42(1):38–50.
- [23] Berger B, Knebel J, Steigmeier-Raith S, et al. 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. *Tierarztl Prax Ausg K*. 2015;43(6):373–380.
- [24] Amimoto H, Koreeda T, Ochi Y, et al. Force Plate Gait Analysis and Clinical Results after Tibial Plateau Levelling Osteotomy for Cranial Cruciate Ligament Rupture in Small Breed Dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* : VCOT. 2020;33(3):183–188.
- [25] Wucherer KL, Conzemius MG, Evans R, et al. Short-term and long-term outcomes for overweight dogs with cranial cruciate ligament rupture treated surgically or nonsurgically. *J Am Vet Med Assoc*. 2013;242(10):1364–1372.
- [26] Conzemius MG, Evans RB, Besancon MF, et al. Effect of surgical technique on limb function after surgery for rupture of the cranial cruciate ligament in dogs. *J Am Vet Med Assoc*. 2005;226(2):232–236.
- [27] Voss K, Damur DM, Guerrero T, et al. Force plate gait analysis to assess limb function after tibial tuberosity advancement in dogs with cranial cruciate ligament disease. *Vet Comp Orthop Traumatol* : VCOT. 2008;21(3):243–249.
- [28] Amimoto H, Koreeda T, Wada N. Evaluation of recovery of limb function by use of force plate gait analysis after tibial plateau leveling osteotomy for management of dogs with unilateral cranial cruciate ligament rupture. *Am J Vet Res*. 2019;80(5):461–468.
- [29] Evans R, Gordon W, Conzemius M. Effect of velocity on ground reaction forces in dogs with lameness attributable to tearing of the cranial cruciate ligament. *Am J Vet Res*. 2003;64(12):1479–1481.
- [30] Might KR, Bachelez A, Martinez SA, et al. Evaluation of the drawer test and the tibial compression test for differentiating between cranial and caudal stifle subluxation associated with cruciate ligament instability. *Vet Surg* : VS. 2013;42(4):392–397.
- [31] Schwede M, Rey J, Böttcher P. In vivo fluoroscopic kinematography of cranio-caudal stifle stability after tibial tuberosity advancement (TTA): a retrospective case series of 10 stifles. *Open Vet J*. 2018;8(3):295–304.
- [32] Kim SE, Lewis DD, Pozzi A. Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial subluxation: in vivo analysis during standing. *Vet Surg* : VS. 2012;41(4):465–470.
- [33] Shimada M, Takagi T, Kanno N, et al. Biomechanical Effects of Tibial Plateau Levelling Osteotomy on Joint Instability in Normal Canine Stifles: An In Vitro Study. *Vet Comp Orthop Traumatol* : VCOT. 2020;33(5):301–307.
- [34] Carobbi B, Ness MG. Preliminary study evaluating tests used to diagnose canine cranial cruciate ligament failure. *J Small Anim Pract*. 2009;50(5):224–226.
- [35] Kapler MW, Marcellin-Little DJ, Roe SC. Planned wedge size compared to achieved advancement in dogs undergoing the modified Maquet procedure. *Vet Comp Orthop Traumatol* : VCOT. 2015;28(6):379–384.
- [36] Bennett D, May C. Meniscal damage associated with cruciate disease in the dog. *J Small Anim Pract*. 1991;32(3):111–117.
- [37] Ertelt J, Fehr M. Cranial cruciate ligament repair in dogs with and without meniscal lesions treated by different minimally invasive methods. *Vet Comp Orthop Traumatol* : VCOT. 2009;22(1):21–26.
- [38] Cabrera SY, Owen TJ, Mueller MG, et al. Comparison of tibial plateau angles in dogs with unilateral versus bilateral cranial cruciate ligament rupture: 150 cases (2000–2006). *J Am Vet Med Assoc*. 2008;232(6):889–892.
- [39] Buote N, Fusco J, Radasch R. Age, tibial plateau angle, sex, and weight as risk factors for contralateral rupture of the cranial cruciate ligament in Labradors. *Vet Surg* : VS. 2009;38(4):481–489.
- [40] Grierson J, Asher L, Grainger K. An investigation into risk factors for bilateral canine cruciate ligament rupture. *Vet Comp Orthop Traumatol* : VCOT. 2011;24(3):192–196.
- [41] Ferreira MP, Ferrigno CR, de Souza AN, et al. 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* : VCOT. 2016;29(3):209–213.
- [42] Beer P, Bockstahler B, Schnabl-Feichter E. Tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement – a systematic review. *Tierarztl Prax Ausg K, Kleintiere/Heimtiere*. 2018;46(4):223–235.
- [43] Waxman AS, Robinson DA, Evans RB, et al. Relationship between objective and subjective assessment of limb function in normal dogs with an experimentally induced lameness. *Vet Surg* : VS. 2008;37(3):241–246.
- [44] Conzemius MG, Evans RB. Caregiver placebo effect for dogs with lameness from osteoarthritis. *J Am Vet Med Assoc*. 2012;241(10):1314–1319.
- [45] Quinn MM, Keuler NS, Lu Y, et al. Evaluation of agreement between numerical rating scales, visual analogue scoring scales, and force plate gait analysis in dogs. *Vet Surg* : VS. 2007;36(4):360–367.
- [46] Fischer S, Anders A, Nolte I, et al. Compensatory load redistribution in walking and trotting dogs with hind limb lameness. *Vet J*. 2013;197(3):746–752.
- [47] Budsberg SC. Long-term temporal evaluation of ground reaction forces during development of experimentally induced osteoarthritis in dogs. *A J Vet Res*. 2001;62(8):1207–1211.
- [48] Shimada M, Mizokami N, Ichinohe T, et al. Long-term outcome and progression of osteoarthritis in uncomplicated cases of cranial cruciate ligament rupture treated by tibial plateau leveling osteotomy in dogs. *J Vet Med Sci*. 2020;82(7):908–916.

5. DISKUSSION

Da die Ruptur des vorderen Kreuzbandes beim Hund die häufigste Kniegelenkserkrankung ist, die zu einer Lahmheit der Hintergliedmaße führt (Johnson & Johnson 1993), wurden in den vergangenen Jahrzehnten stetig neue Methoden entwickelt, die eine normale Funktion der Gliedmaße wiederherstellen sollen, wobei sich die Umstellungsosteotomien sehr weit verbreitet haben (Slocum & Devine Slocum 1993, Montavon et al. 2002, Kim et al. 2008, Corr 2009, Ness 2011). Diese Studie hatte daher zum Ziel, bei Langzeitkontrollen mindestens ein Jahr nach der Operation die etablierte und weit verbreitete TPLO mit der neueren MMP zu vergleichen, da es zu zweitgenannter OP-Methode noch sehr wenig Literatur zu Langzeitergebnissen im Vergleich gibt. Es wurde eine orthopädische Untersuchung durchgeführt, die Arthroseprogression anhand von Röntgenbildern ausgewertet und die beiden OP-Methoden sowohl miteinander als auch mit einer gesunden Kontrollgruppe zur objektiven Beurteilung mittels Ganganalyse verglichen. Zusätzlich wurde der Einfluss der Erfahrung der Chirurgen bei der TPLO überprüft. Dazu wurden die Hunde, welche mittels TPLO versorgt wurden in zwei Gruppen aufgeteilt: die erste Gruppe wurde ausschließlich von erfahrenen Operateuren versorgt (TPLO1), während die zweite Gruppe von Chirurgen mit unterschiedlicher OP-Erfahrung operiert wurde (TPLO2).

Auch andere Studien untersuchten die Hunde orthopädisch, radiologisch und ganganalytisch (Böddeker et al. 2012, Berger et al. 2015, Livet et al. 2019, Knebel et al. 2020, Della Valle et al. 2021). Eine andere Studie untersuchte die Hunde nur radiologisch und ganganalytisch (Shimada et al. 2020), während Moore et al. (2020) auf die Ganganalyse verzichteten.

Die am weitesten verbreitete TPLO und die TTA weisen in verschiedenen Studien gute bis sehr gute Ergebnisse auf (Hoffmann et al. 2006, Boudrieau 2009, de Medeiros et al. 2011). Auch die MMP liefert vergleichbar gute Ergebnisse (Knebel et al. 2020, Della Valle et al. 2021).

In der Studie von Knebel et al. (2020) konnte nach sechs Monaten eine signifikante Verbesserung der Gliedmaßenfunktion sowohl nach TPLO als auch nach MMP festgestellt werden und es wurden keine signifikanten

Unterschiede zwischen den beiden OP-Methoden nachgewiesen. In dieser Studie waren alle Bodenreaktionskräfte nach chirurgischer Versorgung mit beiden OP-Methoden noch signifikant niedriger als die der gesunden Kontrollgruppe, außer die PVF nach TPLO bei der Kontrolle nach sechs Monaten (Knebel et al. 2020). In der eigenen Studie wurden beim Vergleich der PVF der Kontrollgruppe mit den jeweiligen OP-Gruppen signifikante Unterschiede bei den Hunden der MMP-Gruppe, sowie bei bilateral operierten Hunden in der TPLO2-Gruppe gefunden; die Werte der Kontrollgruppe waren hier jeweils signifikant größer als die der OP-Gruppen. Beim VI wurde lediglich bei bilateral operierten Hunden der TPLO2-Gruppe ein signifikanter Unterschied zur Kontrollgruppe gefunden. Dies lässt vermuten, dass auch nach einer längeren Zeitspanne nach der Operation eine Verbesserung der Gliedmaßenfunktion möglich und nicht mit einer Veränderung/Verschlechterung der Bodenreaktionskräfte zu rechnen ist. Auch in der Studie von Krotscheck et al. (2016) wurden nach Operation mittels TTA im Schritt erst nach einem Jahr keine signifikanten Unterschiede mehr im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe gefunden, wohingegen die TPLO-Gruppe bereits nach sechs Monaten keine signifikanten Unterschiede, die Gruppe einer extrakapsulären Versorgungsmethode jedoch zu jedem Zeitpunkt noch signifikante Unterschiede der Bodenreaktionskräfte (PVF, VI, StD) aufwies. Ähnliches beschrieben Nelson et al. (2013) in ihrer Studie, in der die TPLO-Gruppe schneller wieder eine normale Gliedmaßenfunktion erreichte, wohingegen die Gruppe einer extrakapsulären Methode auch bis zu einem Jahr nach der Operation signifikante Unterschiede verglichen mit einer gesunden Kontrollgruppe aufwies. Da die MMP und die TPLO-Gruppen der eigenen Studie vergleichbar gute Langzeitergebnisse erzielten, lässt sich also vermuten, dass Umstellungsosteotomien wie die TPLO oder die MMP im Gegensatz zu extrakapsulären Methoden möglicherweise schneller und auch langfristig zu normalen Bodenreaktionskräften führen. Dies gilt es allerdings in zukünftigen Studien zu überprüfen, da extrakapsuläre Methoden in der eigenen Studie nicht untersucht wurden.

Auch die unterschiedliche Erfahrung verschiedener Chirurgen in der TPLO2-Gruppe schien keinen Einfluss auf die Ergebnisse zu haben, wobei

hierzu weitere Untersuchungen mit größeren Gruppen notwendig sind, weshalb diese Ergebnisse als Limitation der Studie zu betrachten sind.

Da die Erfahrung des Chirurgen in der eigenen Studie jedoch keinen Einfluss auf die Ergebnisse zu haben scheint, lässt sich vermuten, dass auch mit der TPLO nicht sehr erfahrene Chirurgen gute Ergebnisse mit der TPLO zur Versorgung eines vKBR erzielen können. In der zugänglichen Literatur gibt es dazu keine Hinweise, weshalb nur auf die Ergebnisse der eigenen Studie zurückgegriffen werden kann und die Technik der Durchführung der TPLO als gut und einfach erlernbar zu sein scheint, sodass keine umfangreiche orthopädische Erfahrung dafür erforderlich zu sein scheint.

Um zusätzlich zur subjektiven Lahmheitsbeurteilung eine Möglichkeit der objektiven Beurteilung zu erhalten, wurde in der vorliegenden Studie eine Laufbanduntersuchung und computergestützte Ganganalyse durchgeführt. Die bei der Ganganalyse erhobenen Daten der Bodenreaktionskräfte lassen sich besser und objektiver miteinander vergleichen als die rein subjektive Beurteilung der Lahmheit bei der orthopädischen Untersuchung, wie auch schon verschiedene andere Studien zeigen konnten (Quinn et al. 2007, Waxman et al. 2008, Conzemius & Evans 2012). Die zuvor genannten Studien konnten zeigen, dass zudem keine gute Korrelation zwischen der Ganganalyse und der subjektiven Lahmheitsbeurteilung besteht. Diese schlechte Korrelation lässt sich auch in der eigenen Studie beobachten. Während bei der subjektiven Lahmheitsuntersuchung lediglich ein Hund der TPLO1-Gruppe als lahm eingestuft wurde, wiesen bei der Ganganalyse mithilfe des Symmetrieindex (Robinson et al. 1987) und in anderen Studien bereits etablierten Grenzwerten der Bodenreaktionskräfte (Voss et al. 2007, Knebel et al. 2020, Pietsch et al. 2020, Wagmeister et al. 2022) deutlich mehr Hunde eine verminderte Belastung der operierten Gliedmaße (TPLO1 = 8 Hunde, TPLO2 = 7 Hunde, MMP = 6 Hunde) auf. Für die Bewertung einer klinisch nicht sichtbaren Lahmheit in Studien ist die Ganganalyse daher ein sehr wichtiges Mittel, wohingegen im klinischen Alltag zusätzliche Parameter wie zum Beispiel die Schmerzhaftigkeit des Patienten eine wichtige Rolle einnehmen (Tobias & Johnston 2012). Es gilt jedoch zu bedenken, dass die Ganganalyse deutlich sensitiver ist und somit

auch zur Überinterpretation oder falsch positiven Ergebnissen führen kann. Bei der ganganalytischen Bewertung wurde in der eigenen Studie ein Hund nämlich schon als lahm eingestuft, sobald ein Wert von PVF, VI oder den jeweiligen Symmetrieindizes den jeweiligen Grenzwert überschritten hatte. Es kann also auch sein, dass beispielsweise eine ganganalytisch verminderte Belastung der nicht-operierten, gesunden Seite zu einer Einstufung als „lahm“ führt. So können zum Beispiel auch Asymmetrien in der Ganganalyse und somit vermeintlich verminderte Belastungen oder Lahmheiten durch eine Gewichtsverlagerung auf die Vordergliedmaßen oder kontralaterale Seite entstehen (Fischer et al. 2013). Es lässt sich also vermuten, dass es bei bilateralen vKBR zum Beispiel zu einer vermehrten Gewichtsverlagerung auf die Vordergliedmaßen und somit zu einer verminderten Belastung der Hintergliedmaßen kommen kann (Fischer et al. 2013). Die Verteilung von uni- und bilateral betroffenen Hunden gilt es deshalb zu berücksichtigen. In der eigenen Studie war genau die Hälfte aller Patienten bilateral von einem vKBR betroffen, was einem repräsentativen Bild entspricht. Andere Studien lagen mit 38,7% - 61,3% bilateral betroffener Hunde ebenfalls in einer ähnlichen Größenordnung (Cabrera et al. 2008, Buote et al. 2009, Grierson et al. 2011). Bei Langzeitkontrollen lag in der Studie von Shimada et al. (2020) die Anzahl bilateral betroffener Hunde sogar bei 75%. Betrachtet man Studien mit ausschließlich unilateral betroffenen Tieren, so ist die Patientenpopulation meist deutlich kleiner (Ferreira et al. 2016, Amimoto et al. 2019, Della Valle et al. 2021). Mögliche Erklärungen hierfür sind die Nichtberücksichtigung bilateral betroffener Hunde oder die kurze Zeitspanne bis zur Abschlusskontrolle, sodass die kontralaterale Seite noch nicht erkrankt war. Es gilt deshalb stets zu überprüfen, ob auch bei der kontralateralen Seite bereits ein vKBR vorliegt, wie es auch in der eigenen Studie geschehen ist. Auch in der eigenen Studie wäre die Patientenzahl bei der Auswertung ausschließlich unilateral betroffener Hunde ($n = 25$) deutlich kleiner gewesen. Bei dem entsprechend hohen Vorkommen von bilateralen vKBR ist es jedoch wichtig beide Gruppen zu betrachten und zu untersuchen, da dies viel mehr dem klinischen Alltag entspricht. Eine Schwierigkeit hierbei kann die Auswertung der bilateral betroffenen Hunde sein, da bei zu kurzer Zeitspanne bis zur Abschlusskontrolle die kontralaterale Seite gegebenenfalls noch nicht

vollständig verheilt sein kann und das Tier diese Gliedmaße dementsprechend noch nicht normal belastet. In der eigenen Studie konnte man davon ausgehen, dass aufgrund der großen Zeitspanne, die seit der Operation vergangen war, auch die zweite operierte Seite bereits vollständig verheilt war. Da der vKBR die Ursache eines multifaktoriellen Geschehens ist und angenommen wird, dass eine im Laufe des Lebens voranschreitende Degeneration des Kreuzbandes, sowie weitere prädisponierende Faktoren wie beispielsweise die Rasse (erbliche Komponente) eine Rolle spielen, ist damit zu rechnen, dass unter gegebenen Umständen ein Bagateltrauma ausreichend ist und auch das Kreuzband der zweiten Seite rupturieren kann (Brunnberg 1990, Johnson & Johnson 1993, Wilke et al. 2006, Comerford et al. 2011, Baird et al. 2014). Aufgrund der großen Patientenzahl im Schritt konnten in der eigenen Studie die Patienten getrennt für uni- und bilateral betrachtet und mit der gesunden Kontrollgruppe verglichen werden.

Eine Limitation der Ganganalyse in der eigenen Studie ist die geringe Anzahl untersuchter Hunde im Trab, weshalb nur 47,7% der operierten Kniegelenke im Trab ausgewertet werden konnten. Diese wurden daher nicht getrennt für uni- und bilateral betroffene Hunde ausgewertet. In der eigenen Studie führten vor allem die mangelhafte Kooperativität der Hunde, die Limitationen des Laufbandes - wie Größe im Verhältnis zum Hund - und die längere Schrittlänge im Trab im Gegensatz zum Schritt zum Ausscheiden der Hunde bei der Ganganalyse im Trab. Obwohl eine Übereinstimmung der Ganganalysedaten in Schritt und Trab besteht, konnten Voss et al. (2007) eine höhere Sensitivität und Spezifität der Ganganalyse im Trab nachweisen. Auch Evans et al. (2003) bewiesen in ihrer Studie mit Hunden mit vKBR, dass die Ergebnisse im Schritt und Trab sehr gut miteinander korrelieren. Es ist daher davon auszugehen, dass die Ergebnisse der Ganganalyse der eigenen Studie repräsentativ und mit einer guten Aussagekraft sind. Um auch im Trab die Hunde getrennt für uni- und bilateral untersuchen zu können, hätte eine noch größere Patientenpopulation eingeschlossen werden müssen, da mit den angesprochenen Limitationen durch das Laufband oder der fehlenden Kooperativität der Hunde und somit mit dem Verlust dieser bei der

Ganganalyse im Trab zu rechnen ist. Der ganganalytische Vergleich zwischen der TPLO und MMP im Trab getrennt für uni- und bilateral betroffene ist weiteren Studien vorbehalten.

In der eigenen Studie wurde in allen drei OP-Gruppen eine Arthroseprogression festgestellt. Dass diese Progression in der TPLO2-Gruppe signifikant niedriger war als in den anderen beiden Gruppen (auch pro Jahr berechnet), lässt vermuten, dass der initial niedrigere Arthrosescore Einfluss auf das Voranschreiten der Arthrosen haben kann. Das heißt, je weniger Arthrose initial vorhanden ist und je früher die Operation durchgeführt wird, kann gegebenenfalls ein Voranschreiten der Arthrose verlangsamt werden. Diese Vermutung gilt es in anderen Studien zu evaluieren. Dass es, wie von Slocum & Devine Slocum (1993) für die TPLO propagiert wurde, zu einem Stillstand der Arthrose kommt, konnte bereits in mehreren Studien widerlegt werden (Au et al. 2010, Berger et al. 2015, Knebel et al. 2020, Moore et al. 2020, Shimada et al. 2020). Die Ergebnisse der eigenen Studie bestätigten dies ebenfalls. Um eine möglichst objektive Bewertung der Arthrose zu erhalten, wurden die Röntgenbilder immer vom gleichen Untersucher und nach einem bestimmten Schema ausgewertet (Mager 2000, Wessely et al. 2017), welches bereits in anderen Studien verwendet wurde (Berger et al. 2015, Knebel et al. 2020, Shimada et al. 2020). Andere Studien verwendeten andere Schemata, versuchten die Auswertung der Röntgenbilder bezüglich der Arthroseprogression jedoch ebenfalls so gut wie möglich zu objektivieren (Au et al. 2010). Die zuletzt genannte Studie hat die Auswertung zusätzlich geblindet, was aufgrund von vorhandenen Implantaten in der eigenen Studie nicht vollständig möglich gewesen wäre. Die Progression der Arthrose muss außerdem als mögliches Einflusskriterium auf die Gliedmaßenbelastung betrachtet werden, denn Budsberg (2001) konnte in einer experimentellen Studie belegen, dass eine Durchtrennung des vorderen Kreuzbandes, mit einhergehendem Voranschreiten der Arthrose (Brandt et al. 1991), zu verminderten Bodenreaktionskräften führt. Sowohl die eigene als auch andere Studien können aber zeigen, dass es trotz voranschreitender Arthrose zu einer Verbesserung der Gliedmaßenbelastung kommt, wenn auch verglichen mit

einer gesunden Kontrollgruppe keine absolut normalen Bodenreaktionskräfte erreicht werden (Knebel et al. 2020, Shimada et al. 2020).

Partielle Meniskektomien wurden aufgrund von Meniskusläsionen in der eigenen Studie bei 57% der Kniegelenke durchgeführt, wobei es keine signifikanten Unterschiede bei der Häufigkeit des Auftretens zwischen den drei OP-Gruppen gab. Diese Anzahl war in der Studie von Knebel et al. (2020) fast identisch. Auch in anderen Studien lag sie in einem ähnlichen prozentualen Bereich (Bennett & May 1991, Ertelt & Fehr 2009, Fitzpatrick & Solano 2010), sodass die eigene Population als repräsentativ angesehen werden kann. Da in der eigenen Studie kein signifikanter Unterschied zwischen den 3 OP-Gruppen vorlag, wurde der Einfluss von partiellen Meniskektomien nicht weiter berücksichtigt. In zukünftigen Studien gilt es daher herauszufinden, ob partielle Meniskektomien Einfluss auf die Langzeitergebnisse im Vergleich zwischen TPLO und MMP haben können.

Klinisch wurde bei den Langzeitkontrollen der eigenen Studie ein sehr gutes Ergebnis erzielt, denn nur ein Hund der TPLO2-Gruppe zeigte bei der Untersuchung eine geringgradige Lahmheit. Dies deutet auf eine Verbesserung im Vergleich zur vorangegangenen Studie von Knebel et al. (2020) hin, in der bei der Abschlusskontrolle nach sechs Monaten noch vier Hunde der TPLO-Gruppe und fünf Hunde der MMP-Gruppe eine Lahmheit „Grad 1“ oder „Grad 2“ aufwiesen. Dieser Unterschied ist jedoch sehr kritisch zu betrachten, da es sich bei der subjektiven Beurteilung der Lahmheit um einen anderen Untersucher handelte. Wichtig war in der eigenen Studie deshalb, dass die Untersuchungen nur von einem Untersucher durchgeführt wurden, um mögliche individuelle Abweichungen der Bewertungen der Lahmheit zu verhindern.

Die postoperative Stabilität der Kniegelenke wurde anhand des Tibiakompressionstests überprüft, der in der eigenen Studie bei allen untersuchten Kniegelenken negativ war. Der Schubladentest war bei manchen Hunden in allen drei OP-Gruppen positiv. Auch andere Studien konnten zeigen, dass postoperativ eine kraniokaudale Instabilität nach TPLO oder TTA möglich ist (Kim et al. 2012, Schwede et al. 2018). Rebentrost (2019) konnte in ihrer Studie zeigen, dass nach chirurgischer

Versorgung mittels TPLO bei einem höheren postoperativen Tibiaplateauwinkel (Median 5°) bei signifikant mehr Hunden eine kraniokaudale Instabilität vorlag als bei einem niedrigeren Tibiaplateauwinkel (Median 2°). Da weder durch die TPLO noch durch die MMP das vordere Kreuzband ersetzt, sondern jeweils eine Veränderung der Biomechanik des Kniegelenks erreicht werden soll, ist es durchaus möglich, dass der Schublidentest nach beiden OP-Techniken noch positiv ist. Daher wurden diese Befunde zwar notiert, aber aufgrund des postoperativen Zustands und der hierfür geringen klinischen Relevanz nicht weiter bewertet (Might et al. 2013). In einer Studie konnte nach TPLO während der Kompression (wie beispielsweise beim physiologischen Gang) eine kraniokaudale Stabilität des Kniegelenks festgestellt werden (Shimada et al. 2020). In der eigenen Studie kann diese Beobachtung aufgrund des stets negativen Tibiakompressionstests für die TPLO bestätigt werden. Für die MMP lässt sich zudem vermuten, dass diese ebenso eine kraniokaudale Stabilität unter gleichzeitiger Kompression des Kniegelenks erzielt, wie bereits die Prinzipien der Erfinder der TTA und MMP erklären (Tepic et al. 2002, Ness 2016). Voraussetzung hierfür ist stets eine korrekte Durchführung der genannten Operationstechniken. Beide zuvor genannten Tests weisen bei Hunden in Narkose eine höhere Sensitivität auf (Carobbi & Ness 2009). Um die Möglichkeit einer Diagnosestellung zu erhöhen, sollten daher präoperativ immer beide Tests durchgeführt und falls nötig das Tier in eine kurze Sedation gelegt werden. In der eigenen Studie wurden die Untersuchungen im Zuge der Nachkontrollen stets am wachen Tier durchgeführt, um eine zusätzliche Narkose zu vermeiden.

Die TPLO1-Gruppe (31,18 kg), die TPLO2-Gruppe (31,88 kg), die MMP-Gruppe (31,3 kg) und die Kontrollgruppe (30,5 kg) lagen hinsichtlich des Körpergewichts ohne signifikante Unterschiede sehr nah beieinander. Mit dem Einschlusskriterium des Körpergewichts zwischen 20 - 40 kg konnte eine gute Ausgangslage zum Vergleich der erhobenen Daten geschaffen werden. Auch die Hunde der Studie von Knebel et al. (2020) hatten in der TPLO-Gruppe und der MMP-Gruppe durchschnittlich fast das gleiche Körpergewicht von im Mittel 30 kg. Da es sich bei der Kontrollgruppe um exakt die gleichen Hunde handelt, waren diese dementsprechend gleich

schwer. In der Studie von Della Valle et al. (2021), die Hunde nach MMP ganganalytisch untersuchten, lagen diese ebenfalls in einer ähnlichen Gewichtsklasse von circa 36,0 kg. Die Hunde der Studie von Krotscheck et al. (2016) lagen auch jeweils in der TPLO-Gruppe (36,7 kg), der TTA-Gruppe (34,0 kg), der Gruppe der extrakapsulären Versorgungstechnik (32,8 kg) und der Kontrollgruppe (30,2 kg) in der vergleichbaren Größenordnung. Beim Vergleich der TPLO (35,4 kg) mit einer extrakapsulären Versorgungstechnik (32,2 kg) lagen die Hunde in der Studie von Böddeker et al. (2012) ebenfalls in etwa in dieser Gewichtsklasse. Dies lässt einen sehr guten Vergleich der Ergebnisse mit den zuvor genannten Studien zu. Shimada et al. (2020) lagen mit ihrer Population mit einem medianen Gewicht von 30,5 kg zwar ebenfalls in einem ähnlichen Bereich, wiesen aber eine deutlich größere Streuung auf (15,9 – 60,0 kg). Andere Studien mit kleineren Hunderassen unter 15 kg Körpergewicht konnten eine Überlegenheit der TPLO gegenüber einer extrakapsulären Versorgung bei Untersuchungen sechs Monate postoperativ feststellen (Berger et al. 2015, Amimoto et al. 2020), liefern jedoch keine Ergebnisse zu Langzeitkontrollen. Ein Vergleich der eigenen Studie mit den beiden zuletzt genannten ist jedoch aufgrund der unterschiedlichen Gewichtsklassen als kritisch zu bewerten. Für Hunde über 40 kg und unter 20 kg gilt es in weiteren Studien herauszufinden, ob die TPLO und die MMP ähnliche und mit der eigenen Studie vergleichbare Ergebnisse liefern.

Die zuvor ausgewählte Spanne des Gewichts hat in der eigenen Studie vermutlich einen großen Einfluss auf die Rasseverteilung. So war der Labrador Retriever (n = 15) in der eigenen Studie gefolgt vom Mischling (n = 9) die am häufigsten vertretene Rasse, bei den an einem vKBR erkrankten Hunden. Aufgrund der Eingrenzung des Gewichts waren kleinere (z.B. Yorkshire Terrier) und größere (z.B. Neufundländer) Rassen, die von anderen Studien als häufig vertreten beschrieben wurden, nicht so häufig oder gar nicht vertreten (Whitehair et al. 1993, Witsberger et al. 2008, Berger et al. 2015). Der Neufundländer war vermutlich aufgrund seiner Größe, trotz seiner genetischen Prädisposition, in der eigenen Studie nicht vertreten (Wilke et al. 2006, Baird et al. 2014). Dass es sich bei der eigenen

Population dennoch um eine für diese Gewichtsklasse repräsentative handelt, bestätigen andere Studien bei denen Labrador Retriever und Mischlinge am häufigsten vertreten waren (Krotscheck et al. 2016, Livet et al. 2019, Knebel et al. 2020, Shimada et al. 2020, Della Valle et al. 2021). Die Kontrollgruppe, bestehend aus 16 Labrador Retrievern, lässt sich daher ebenso gut zum Vergleich mit den OP-Gruppen heranziehen. Nelson et al. (2013) hatten eine große Kontrollgruppe unterschiedlicher Rassen, bei denen aber auch der Labrador Retriever und der Mischling dominierten. In der Studie von Conzemius et al. (2005) wurden ausschließlich Labrador Retriever eingeschlossen; 131 gehörten zur Patientenpopulation und 17 weitere dienten als Kontrollgruppe. Dieses einheitliche Rassebild lässt vermutlich die beste Aussage beim Vergleich unterschiedlicher OP-Techniken zu, gleicht jedoch nicht dem klinischen Alltag. Voss et al. (2011) fanden diesbezüglich heraus, dass Ganganalysedaten von Hunden unterschiedlicher Rassen nicht zwingend gut miteinander vergleichbar sind und man deshalb auf ähnliche Körpergrößen als Einschlusskriterium für Studien achten sollte. In der eigenen Studie wurde daher eine dem klinischen Alltag entsprechende Population unterschiedlicher Rassen, aber mit einem eingegrenzten Körpergewicht, gewählt.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass nach chirurgischer Versorgung eines vKBR sowohl mittels TPLO als auch MMP langfristig gute klinische Ergebnisse erzielt werden können, ohne dass eine der beiden OP-Techniken der anderen überlegen scheint. Auch bei der Ganganalyse erreichen beide OP-Techniken ähnlich gute Werte, auch wenn diese nicht alle an die gesunde Kontrollgruppe heranreichen. Mit einer Progression der Arthrose ist auch nach chirurgischer Versorgung eines vKBR sowohl nach TPLO als auch nach MMP zu rechnen, die aber nicht mit dem klinischen Bild und der Funktion der Gliedmaße korrelieren muss.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Die häufigste Kniegelenkserkrankung beim Hund, die Ursache für eine Lahmheit der Hintergliedmaße ist, ist die Ruptur des vorderen Kreuzbandes (vKBR). Im Laufe der letzten Jahrzehnte wurden immer wieder verschiedene Operationstechniken entwickelt, um die Stabilität des Kniegelenks wieder herzustellen und die Lahmheit zu beheben. Neben extra- und intrakapsulären Versorgungstechniken, etablierten sich in den letzten Jahren zunehmend verschiedene Umstellungsosteotomien. Die weit verbreiteten Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) und die auf einem anderen biomechanischen Prinzip beruhende Tibial Tuberosity Advancement (TTA) wurden bereits in vielen Studien untersucht und miteinander verglichen. Zur neueren Modified Maquet Procedure (MMP) gibt es bisher noch sehr wenig Literatur.

Das Ziel der vorliegenden Studie war es daher bei Langzeitkontrollen mindestens ein Jahr nach der Operation, die Ergebnisse nach chirurgischer Versorgung eines vKBR beim Hund mit der etablierten TPLO und der neueren MMP gegenüberzustellen. Dafür wurden die Hunde orthopädisch untersucht und die Progression der Arthrosen anhand von Röntgenbildern ausgewertet. Für die objektive Bewertung wurden Laufbanduntersuchungen getrennt für uni- und bilateral betroffene Hunde angefertigt und die beiden OP-Methoden untereinander sowie mit einer gesunden Kontrollgruppe ganganalytisch verglichen. Die Hunde der Kontrollgruppe, bestehend aus 16 Labrador Retrievern, wurden im selben Ganganalyselabor untersucht und wurden auch schon bei früheren Studien zum Vergleich herangezogen. Ein weiteres Ziel war es, den Einfluss der Erfahrung des Chirurgen auf das Ergebnis der TPLO zu überprüfen. Dafür wurden die mit einer TPLO versorgten Hunde in zwei Gruppen aufgeteilt: Die TPLO1-Gruppe wurde von zwei erfahrenen Chirurgen und die TPLO2-Gruppe von sieben Chirurgen mit unterschiedlicher OP-Erfahrung operiert.

In die Studie eingeschlossen wurden insgesamt 67 operierte Kniegelenke von 50 Hunden. Die größte Gruppe war die TPLO1-Gruppe mit 25 untersuchten Kniegelenken, dicht gefolgt von der TPLO2-Gruppe (n = 23) und der MMP-Gruppe (n = 19). Der Labrador Retriever (n = 15) und der

Mischling (n = 9) waren die am häufigsten vertretenen Rassen.

Klinisch zeigte nur ein Hund der TPLO2-Gruppe eine Lahmheit. Bei der orthopädischen Untersuchung war der Tibiakompressionstest bei allen untersuchten Kniegelenken negativ und es konnte bei keinem der Hunde eine Schmerzhaftigkeit ausgelöst werden.

Bei der Ganganalyse erzielten beide OP-Techniken (TPLO und MMP) gute und ähnliche Werte der Bodenreaktionskräfte Peak Vertical Force (PVF), Vertical Impulse (VI) und Standphasendauer (StD). Im Vergleich der drei OP-Gruppen mit der gesunden Kontrollgruppe konnten im Schritt signifikante Unterschiede bei der PVF und dem VI gefunden werden und nach Berechnung des Symmetrieindex zeigten Hunde aus allen drei OP-Gruppen eine leicht verminderte Belastung und somit eine ganganalytisch diagnostizierte Lahmheit. Ein Einfluss der Erfahrung des Chirurgen auf das Ergebnis der TPLO-Technik konnte nicht gefunden werden.

In allen drei OP-Gruppen zeigte sich eine Progression der Arthrose. Durchschnittlich pro Jahr berechnet war die Zunahme der Arthrose der TPLO2-Gruppe signifikant niedriger als die der anderen beiden Gruppen.

Insgesamt erzielten alle drei OP-Gruppen gute klinische, radiologische und ganganalytische Ergebnisse und es ließ sich keine Überlegenheit einer der Gruppen feststellen. Die neuere MMP kann bei den Langzeitkontrollen vergleichbare Ergebnisse wie die TPLO erzielen und kann daher als interessante Alternative betrachtet werden.

7. SUMMARY

The most common knee joint disease in dogs causing hindlimb lameness is rupture of the cranial cruciate ligament (vKBR). Over the past decades, various surgical techniques have been developed to regain stability of the stifle joint and resolve the lameness. In addition to extracapsular and intracapsular techniques, various repositioning osteotomies have become increasingly established in recent years. The widely used Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) and the Tibial Tuberosity Advancement (TTA), which is based on a different biomechanical principle, have already been investigated and compared in many studies. However, there is still very little literature on the newer Modified Maquet Procedure (MMP).

Therefore, the aim of the present study was to compare the results after surgical treatment of a vKBR in dogs with the established TPLO and the newer MMP at long-term check-ups at least one year after surgery. For this purpose, the dogs were orthopedically examined and the progression of the osteoarthritis was evaluated on the basis of radiographs. For objective evaluation, treadmill examinations were performed separately for unilaterally and bilaterally affected dogs and the two surgical methods were compared with each other and with a healthy control group by gait analysis. The dogs in the control group, consisting of 16 Labrador retrievers, were examined in the same gait analysis laboratory and have also been used for comparison in previous studies. An additional aim was to check the influence of the surgeon's experience on the outcome of TPLO. Therefore this surgical technique was divided into two groups: The TPLO1 group was operated by two experienced surgeons and the TPLO2 group was operated by seven surgeons with varying surgical experience.

A total of 67 operated knee joints from 50 dogs were included in the study. The largest group was the TPLO1 group with 25 stifle joints examined, followed closely by the TPLO2 group (n = 23) and the MMP group (n = 19). The Labrador retriever (n = 15) and the mixed breed (n = 9) were the most commonly represented breeds.

Only one dog in the TPLO2 group showed clinical signs of lameness. Upon

orthopedic examination, the tibial compression test was negative in all knee joints examined and no pain response could be elicited in any of the dogs.

In gait analysis, both OP techniques (TPLO and MMP) achieved good and similar values of ground reaction forces peak vertical force (PVF), vertical impulse (VI), and stance phase duration (StD). When comparing the three OP groups with the healthy control group, significant differences in PVF and VI were found in the walk, and after calculating the symmetry index, dogs from all three surgical groups showed slightly decreased strain resulting gait analysis diagnosed lameness. An influence of the surgeon's experience on the outcome of the TPLO technique could not be found.

Progression of osteoarthritis was evident in all three surgical groups. Calculated on average per year, the increase in osteoarthritis of the TPLO2 group was significantly lower than that of the other two groups.

Overall, all three OP groups achieved good clinical, radiological, and gait analysis results, and no superiority of any of the groups could be determined. The newer MMP can achieve comparable results to TPLO in the long-term controls and can therefore be considered an interesting alternative.

8. LITERATURVERZEICHNIS

Amimoto, H. , Koreeda, T. , Ochi, Y. , Kimura, R. , Akiyoshi, H. , Nishida, H. , Miyabayashi, T. , Beale, B. S. , Hayashi, K. & Wada, N. (2020). "Force Plate Gait Analysis and Clinical Results after Tibial Plateau Levelling Osteotomy for Cranial Cruciate Ligament Rupture in Small Breed Dogs." Vet Comp Orthop Traumatol **33**(3): 183-188.

Amimoto, H. , Koreeda, T. & Wada, N. (2019). "Evaluation of recovery of limb function by use of force plate gait analysis after tibial plateau leveling osteotomy for management of dogs with unilateral cranial cruciate ligament rupture." Am J Vet Res **80**(5): 461-468.

Au, K. K. , Gordon-Evans, W. J. , Dunning, D. , O'Dell-Anderson, K. J. , Knap, K. E. , Griffon, D. & Johnson, A. L. (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, A. E. , Carter, S. D. , Innes, J. F. , 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.

Ballagas, A. J. , Montgomery, R. D. , Henderson, R. A. & 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.

Beer, P. , Bockstahler, B. & Schnabl-Feichter, E. (2018). "Tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement - a systematic review." Tierarztl Prax Ausg K Kleintiere Heimtiere **46**(4): 223-235.

Bennett, D. & May, C. (1991). "Meniscal damage associated with cruciate disease in the dog." J Small Anim Pract **32**(3): 111-117.

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.

Blond, L. , Thrall, D. E. , Roe, S. C. , Chailleux, N. & Robertson, I. D. (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.

Bockstahler, B. , Skalicky, M. & Peham, C. (2007). "Reliability of ground reaction forces measured on a treadmill system in healthy dogs." Vet J **173**: 373-378.

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.

Böttcher, P. , Brühschwein, A. , Winkels, P. , Werner, H. , Ludewig, E. , Grevel, V. & Oechtering, G. (2010). "Value of low-field magnetic resonance imaging in diagnosing meniscal tears in the canine stifle: a prospective study evaluating sensitivity and specificity in naturally occurring cranial cruciate ligament deficiency with arthroscopy as the gold standard." Vet Surg **39**(3): 296-305.

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

Brandt, K. D. , Myers, S. L. , Burr, D. & Albrecht, M. (1991). "Osteoarthritic changes in canine articular cartilage, subchondral bone, and synovium fifty-four months after transection of the anterior cruciate ligament." Arthritis Rheum **34**(12): 1560-1570.

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, S. C. (2001). "Long-term temporal evaluation of ground reaction forces during development of experimentally induced osteoarthritis in dogs." Am J Vet Res **62**(8): 1207-1211.

Budsberg, S. C. , Jevens, D. J. , Brown, J. , Foutz, T. L. , DeCamp, C. E. & Reece, L. (1993). "Evaluation of limb symmetry indices, using ground reaction forces in healthy dogs." Am J Vet Res **54**(10): 1569-1574.

Budsberg, S. C. , Verstraete, M. C. & Soutas-Little, R. W. (1987). "Force plate analysis of the walking gait in healthy dogs." Am J Vet Res **48**(6): 915-918.

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.

Cabrera, S. Y. , Owen, T. J. , Mueller, M. G. & Kass, P. H. (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.

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

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

Comerford, E. J. , Tarlton, J. F. , Avery, N. C. , Bailey, A. J. & Innes, J. F. (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.

Comerford, E. J. , Tarlton, J. F. , Innes, J. F. , Johnson, K. A. , Amis, A. A. & Bailey, A. J. (2005). "Metabolism and composition of the canine anterior cruciate ligament relate to differences in knee joint mechanics and predisposition to ligament rupture." J Orthop Res **23**(1): 61-66.

Conzemius, M. G. & Evans, R. B. (2012). "Caregiver placebo effect for dogs with lameness from osteoarthritis." J Am Vet Med Assoc **241**(10): 1314-1319.

Conzemius, M. G. , Evans, R. B. , Besancon, M. F. , Gordon, W. J. , Horstman, C. L. , Hoefle, W. D. , Nieves, M. A. & Wagner, S. D. (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.

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

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.

DeCamp, C. E. (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, C. E. , Soutas-Little, R. W. , 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.

Della Valle, G. , Caterino, C. , Aragosa, F. , Micieli, F. , Costanza, D. , Di Palma, C. , Piscitelli, A. & Fatone, G. (2021). "Outcome after Modified Maquet Procedure in dogs with unilateral cranial cruciate ligament rupture: Evaluation of recovery limb function by use of force plate gait analysis." PLoS One **16**(8): e0256011.

Duerr, F. M. , Duncan, C. G. , Savicky, R. S. , Park, R. D. , Egger, E. L. & Palmer, R. H. (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.

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.

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.

Ferreira, M. P. , Ferrigno, C. R. , de Souza, A. N. , Caquias, D. F. & de Figueiredo, A. V. (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.

Fischer, S. , Anders, A. , Nolte, I. & Schilling, N. (2013). "Compensatory load redistribution in walking and trotting dogs with hind limb lameness." Vet J **197**(3): 746-752.

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

Gibbons, S. E. , Macias, C. , Tonzing, M. A. , Pinchbeck, G. L. & McKee, W. M. (2006). "Patellar luxation in 70 large breed dogs." J Small Anim Pract **47**(1): 3-9.

Gillette, R. L. & Angle, T. C. (2008). "Recent developments in canine locomotor analysis: a review." Vet J **178**(2): 165-176.

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.

Hayashi, K. , Frank, J. D. , Dubinsky, C. , Zhengling, H. , Markel, M. D. , Manley, P. A. & Muir, P. (2003a). "Histologic changes in ruptured canine cranial cruciate ligament." Vet Surg **32**(3): 269-277.

Hayes, G. M. , Langley-Hobbs, S. J. & Jeffery, N. D. (2010). "Risk factors for medial meniscal injury in association with cranial cruciate ligament rupture." J Small Anim Pract **51**(12): 630-634.

Hoffmann, D. E. , Miller, J. M. , Ober, C. P. , Lanz, O. I. , Martin, R. A. & Shires, P. K. (2006). "Tibial tuberosity advancement in 65 canine stifles." Vet Comp Orthop Traumatol **19**(4): 219-227.

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

Johnson, J. M. & Johnson, A. L. (1993). "Cranial cruciate ligament rupture.

Pathogenesis, diagnosis, and postoperative rehabilitation." Vet Clin North Am Small Anim Pract **23**(4): 717-733.

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

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

Knebel, J. , Eberle, D. , Steigmeier-Raith, S. , Reese, S. & Meyer-Lindenberg, A. (2020). "Outcome after Tibial Plateau Levelling Osteotomy and Modified Maquet Procedure in Dogs with Cranial Cruciate Ligament Rupture." Vet Comp Orthop Traumatol **33**(3): 189-197.

Krotscheck, U. , Nelson, S. A. , Todhunter, R. J. , 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.

Krotscheck, U. , Todhunter, R. J. , Nelson, S. A. , Sutter, N. B. & Mohammed, H. O. (2014). "Precision and accuracy of ground reaction force normalization in a heterogeneous population of dogs." Vet Surg **43**(4): 437-445.

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

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.

Livet, V. , Baldinger, A. , Viguié, É. , Taroni, M. , Harel, M. , Carozzo, C. & Cachon, T. (2019). "Comparison of Outcomes Associated with Tibial Plateau Levelling Osteotomy and a Modified Technique for Tibial Tuberosity Advancement for the Treatment of Cranial Cruciate Ligament Disease in Dogs: A Randomized Clinical Study." Vet Comp Orthop Traumatol **32**(4): 314-323.

Mager, F. W. (2000). Zur Kniegelenksarthrose des Hundes nach vorderer Kreuzbandruptur - ein retrospektiver Vergleich dreier Operationsmethoden Diss. med. vet., München.

Mahn, M. M. , Cook, J. L. , Cook, C. R. & Balke, M. T. (2005). "Arthroscopic

verification of ultrasonographic diagnosis of meniscal pathology in dogs." Vet Surg **34**(4): 318-323.

Might, K. R. , Bachelez, A. , Martinez, S. A. & Gay, J. M. (2013). "Evaluation of the drawer test and the tibial compression test for differentiating between cranial and caudal stifle subluxation associated with cruciate ligament instability." Vet Surg **42**(4): 392-397.

Montavon, P. M. , Damur, D. M. & 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, P. M. , Damur, D. M. & 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.

Moore, E. V. , Weeren, R. & Paek, M. (2020). "Extended long-term radiographic and functional comparison of tibial plateau leveling osteotomy vs tibial tuberosity advancement for cranial cruciate ligament rupture in the dog." Vet Surg **49**(1): 146-154.

Moore, K. W. & Read, R. A. (1995). "Cranial cruciate ligament rupture in the dog - retrospective study comparing surgical techniques." Austr Vet J(7): 281-285.

Morris, E. & Lipowitz, A. J. (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. , Schamberger, G. M. , Manley, P. A. & 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. (2015a). "Die sonographische Untersuchung des Kniegelenks beim Hund. Teil 1: Anatomische Grundlagen, Untersuchungsgang und häufige Indikationen." Tierärztliche Praxis Kleintiere **43**(2): 120-129.

Nayseh, K. , Kramer, M. & Ondreka, N. (2015b). "Die sonographische Untersuchung des Kniegelenks beim Hund. Teil 2: Wundheilungsstörungen, Neoplasien, kongenitale, entwicklungsbedingte, degenerative und traumatische Veränderungen." Tierärztliche Praxis Kleintiere **43**(3): 193-200.

Nelson, S. A. , Krotscheck, U. , Rawlinson, J. , Todhunter, R. J. , 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, M. G. (2011). "OrthoFoam MMP Wedge. For Canine Cruciate Cruciate Disease. User Guide (Version V1.1)." Orthomed: Available from: www.orthomed.co.uk.

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

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

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.

Pietsch, S. , Steigmeier-Raith, S. , Reese, S. & Meyer-Lindenberg, A. (2020). "Reliability of kinetic measurements of healthy dogs examined while walking on a treadmill." Am J Vet Res **81**(10): 804-809.

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.

Pozzi, A. , Hildreth, B. E., 3rd & Rajala-Schultz, P. J. (2008a). "Comparison of arthroscopy and arthrotomy for diagnosis of medial meniscal pathology: an ex vivo study." Vet Surg **37**(8): 749-755.

Quinn, M. M. , Keuler, N. S. , Lu, Y. , Faria, M. L. , Muir, P. & Markel, M. D. (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, A. K. (2010). Das ganganalytische Profil des Deutschen Schäferhundes - Eine Reevaluierung Diss. med. vet., München.

Rebentrost, P. (2019). Fluoroskopisch-kinematografische Beurteilung der kranio-kaudalen Kniegelenksstabilität nach Tibial Plateau Leveling Osteotomy (TPLO) Diss. med. vet., Leipzig.

Reif, U. , Hulse, D. A. & Hauptman, J. G. (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.

Robinson, R. , Herzog, W. & Nigg, B. (1987). "Use of force platform variables to quantify the effects of chiropractic manipulation of gait symmetry." J Manipulative Physiol Ther **10**: 172-176.

Rumph, P. , Lander, J. & Kincaid, S. (1994). "Ground reaction force profiles from force platform gait analysis of clinically normal mesomorphic dogs at the trot." Am J Vet Res **55**: 756-761.

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.

Schwede, M. , Rey, J. & Böttcher, P. (2018). "In vivo fluoroscopic kinematography of cranio-caudal stifle stability after tibial tuberosity advancement (TTA): a retrospective case series of 10 stifles." Open Vet J **8**(3): 295-304.

Selmi, A. L. & Padilha Filho, J. G. (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.

Shimada, M. , Mizokami, N. , Ichinohe, T. , Kanno, N. , Suzuki, S. , Yogo, T. , Harada, Y. & Hara, Y. (2020). "Long-term outcome and progression of osteoarthritis in uncomplicated cases of cranial cruciate ligament rupture treated by tibial plateau leveling osteotomy in dogs." J Vet Med Sci **82**(7): 908-916.

Shimada, M. , Takagi, T. , Kanno, N. , Yamakawa, S. , Fujie, H. , Ichinohe, T. , Suzuki, S. , Harada, Y. & Hara, Y. (2020). "Biomechanical Effects of Tibial Plateau Levelling Osteotomy on Joint Instability in Normal Canine Stifles: An In Vitro Study." Vet Comp Orthop Traumatol **33**(5): 301-307.

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.

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

Tinga, S. , Kim, S. E. , Banks, S. A. , Jones, S. C. , Park, B. H. , Burtch, M. , Pozzi, A. & Lewis, D. D. (2020). "Femorotibial kinematics in dogs

treated with tibial plateau leveling osteotomy for cranial cruciate ligament insufficiency: An in vivo fluoroscopic analysis during walking." Vet Surg **49**(1): 187-199.

Tobias, K. M. & Johnston, S. A. (2012). Veterinary Surgery Small Animal. St. Louis, Missouri, United States, Elsevier Saunders.

Voss, K. , Damur, D. M. , Guerrero, T. , Haessig, M. & Montavon, P. M. (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, P. M. (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.

Voss, K. , Wiestner, T. , Galeandro, L. , Hässig, M. & Montavon, P. M. (2011). "Effect of dog breed and body conformation on vertical ground reaction forces, impulses, and stance times." Vet Comp Orthop Traumatol **24**(2): 106-112.

Wagmeister, P. , Steigmeier-Raith, S. , Reese, S. & Meyer-Lindenberg, A. (2022). "Compensatory Changes in Ground Reaction Forces in Small and Large Breed Dogs with Unilateral Hindlimb Lameness in Comparison to Healthy Dogs." Vet Comp Orthop Traumatol **35**(2): 105-111.

Warzee, C. C. , Dejardin, L. M. , Arnoczky, S. P. & Perry, R. L. (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, A. S. , Robinson, D. A. , Evans, R. B. , Hulse, D. A. , Innes, J. F. & Conzemius, M. G. (2008). "Relationship between objective and subjective assessment of limb function in normal dogs with an experimentally induced lameness." Vet Surg **37**(3): 241-246.

Wessely, M. , Brühschwein, A. & Schnabl-Feichter, E. (2017). "Evaluation of Intra- and Inter-observer Measurement Variability of a Radiographic Stifle Osteoarthritis Scoring System in Dogs." Vet Comp Orthop Traumatol **30**(6): 377-384.

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

Widmer, W. R. , Buckwalter, K. A. , Braunstein, E. M. , Hill, M. A. , O'Connor, B. L. & Visco, D. M. (1994). "Radiographic and magnetic resonance imaging of the stifle joint in experimental osteoarthritis of dogs." Veterinary Radiology & Ultrasound **35**(5): 371-384.

Wilke, V. L. , Conzemius, M. G. , Kinghorn, B. P. , Macrossan, P. E. , Cai, W. & Rothschild, M. F. (2006). "Inheritance of rupture of the cranial cruciate

ligament in Newfoundlands." J Am Vet Med Assoc **228**(1): 61-64.

Winegardner, K. R. , Scrivani, P. V. , Krotscheck, U. & Todhunter, R. J. (2007). "Magnetic resonance imaging of subarticular bone marrow lesions in dogs with stifle lameness." Vet Radiol Ultrasound **48**(4): 312-317.

Witsberger, T. H. , Villamil, J. A. , Schultz, L. G. , Hahn, A. W. & Cook, J. L. (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.

Wucherer, K. L. , Conzemius, M. G. , Evans, R. & Wilke, V. L. (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.

9. DANKSAGUNG

Zuerst möchte ich mich bei Frau Prof. Dr. Andrea Meyer-Lindenberg für die Möglichkeit dieser Dissertation mit einem solch interessanten Thema bedanken. Danke auch für Ihren Einsatz, Ratschläge und Korrekturen.

Besonders bedanken möchte ich mich bei Dr. Daniela Eberle für Ihre Unterstützung und Betreuung während der Anfertigung dieser Dissertation, die Hilfe bei der Untersuchung der Patienten und Erhebung der Daten. Du hast mich sicher mehr als ein paarmal vor einem Streik des Laufbandes gerettet.

Danke auch an jede helfende Hand der Mitarbeiter der Chirurgischen und Gynäkologischen Kleintierklinik beim Halten der Tiere während den Untersuchungen und den Laufbandaufnahmen, sowie der Anfertigung der Röntgenaufnahmen.

Mein großer Dank gilt auch Dr. Stephanie Steigmeier-Raith für Ihre Hilfe und Ratschläge bei Problemen mit dem Laufband und den ganganalytischen Auswertungen.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei Privatdozent Dr. Sven Reese für seine immense Hilfe und Ideen bei der statistischen Auswertung bedanken.

Bei all meinen Freunden möchte ich für jedes aufmunternde und motivierende Wort bedanken.

Im Besonderen möchte ich mich bei Heidrun und Ludo Kaiser für das Korrekturlesen bedanken. Ohne euch hätten sich sicher noch ein paar mehr Fehler eingeschlichen.

Des Weiteren gilt Elliot Kovanda mein außerordentlicher Dank für seine große Hilfe, die aufgewendete Zeit und sein großes Fachwissen. Danke für jede Erklärung, auch wenn Du sie mir zum x-ten Mal erläutern musstest.

Danke auch an Holly für die liebevolle Betreuung und Beruhigung während der zahllosen Stunden des Schreibens.

Der größte Dank gilt meinen Eltern Petra und Thomas und meiner Schwester Luisa. Ohne euch wäre ich nicht da, wo ich jetzt bin. Ich bin euch

unglaublich dankbar für die unendliche und bedingungslose Unterstützung, Motivation und Aufmunterung.

Zuletzt und ganz besonders möchte ich mich bei meiner Freundin Anna bedanken für die unfassbare Unterstützung, die außerordentliche Geduld, sämtliche Korrekturen und große Hilfe beim Paper und dieser Dissertation. Ich bin sehr froh, Dich zu haben.