



GLAUCO VINÍCIO CHAVES

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DAS TÉCNICAS DE TPLO E
CBLO PARA RUPTURA DO LIGAMENTO CRUZADO
CRANIAL EM CÃES – ESTUDO EX-VIVO**

**LAVRAS-MG
2025**

GLAUCO VINÍCIO CHAVES

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DAS TÉCNICAS DE TPLO E CBLO PARA
RUPTURA DO LIGAMENTO CRUZADO CRANIAL EM CÃES – ESTUDO EX
VIVO**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Clínica, Cirurgia e Patologia Veterinárias, para a obtenção do título de Doutor.

Prof. Dr. Leonardo Augusto Lopes Muzzi
Orientador

Profa. Dra. Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi
Coorientadora

**LAVRAS – MG
2025**

**Ficha Catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração
de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA, com
dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).**

Chaves, Glauco Vinício.

Avaliação biomecânica das técnicas de tpo e cblo para ruptura de ligamento cruzado cranial em cães – estudo ex-vivo / Glauco Vinício Chaves. - 2025.
73 p. : il.

Orientador: Leonardo Augusto Lopes Muzzi

Coorientadora: Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi

Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Lavras, 2025.

Bibliografia.

1. Ensaio biomecânico. 2. Articulação do joelho. 3. Osteotomias tibiais. 4. Cão. I. Muzzi, Leonardo Augusto Lopes . II. Muzzi, Ruthnéa Aparecida Lázaro . III. Universidade Federal de Lavras. IV. Título.

GLAUCO VINÍCIO CHAVES

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DAS TÉCNICAS DE TPLO E CBLO PARA
RUPTURA DO LIGAMENTO CRUZADO CRANIAL EM CÃES – ESTUDO EX-
VIVO**

**BIOMECHANICAL EVALUATION OF TPLO AND CBLO TECHNIQUES
FOR CRANIAL CRUCIATE LIGAMENT RUPTURE IN DOGS – EX VIVO
STUDY**

Tese apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias, área de concentração em Clínica, Cirurgia e Patologia Veterinárias, para a obtenção do título de Doutor.

APROVADA em 17 de junho de 2025.

Profa. Dra. Ruthnéa Aparecida Lázaro Muzzi – DMV/UFLA

Prof. Dr. Fábio Lúcio Santos – DEG/UFLA

Prof. Dr. Fernando Yoiti Kitamura Kawamoto – UNILAVRAS

Prof. Dr. Patricia Popak Lukacs- PUC Minas

Prof. Dr. Leonardo Augusto Lopes Muzzi – DMV/UFLA
Orientador

**LAVRAS – MG
2025**

“Você ainda sonha ou já desistiu”

Autor desconhecido

À minha família, dedico.

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela saúde;

Aos meus santos São Tomás de Aquino e Santa Rita de Cássia pela proteção divina;

À Kelly, por tudo que representa em minha vida...pelo amor e companheirismo, e pela compreensão nos muitos momentos de ausência;

Às minhas filhas Júlia e Rafaela, pelas provas de resistência;

Aos meus pais, José Jamir e Cirlanda, por todo o apoio que sempre pude contar;

Ao meu orientador professor Leonardo, pela orientação;

À minha co-orientadora professora Ruth pela maneira delicada ao ensinar;

Ao Professor Fábio, por abrir as portas do laboratório para este estudo;

Aos meus supervisores James, Antonio e ao Brian pelas ideias inovadoras;

Ao IFMG, pela concessão da licença;

Aos professores da UFLA especialmente ao professor Rogério, por acrescentarem à minha formação;

Aos funcionários da UFLA pela ajuda, principalmente ao Neilor;

Aos residentes e alunos da iniciação científica especialmente à Hamine, Larissa, Luan e Pedro;

Aos amigos Daniel e Daniel pela amizade;

À Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Veterinárias pela oportunidade de cursar o doutorado.

A todos que de alguma forma colaboraram para a finalização desse experimento;

Muito obrigado!

“O mundo inteiro está naquela estrada ali em frente”

Belchior

RESUMO

A doença do ligamento cruzado cranial (LCCr) é uma das injúrias mais comuns do joelho canino, sendo que a intervenção cirúrgica para estabilização articular é o tratamento mais recomendado, objetivando eliminar a translação cranial da tíbia. A técnica de osteotomia tibial mais utilizada é a osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO). Foram desenvolvidas técnicas mais recentes de osteotomia, tal como a osteotomia de nivelamento baseado no CORA (CBLO). As propriedades mecânicas das novas técnicas de estabilização precisam ser avaliadas usando modelos ex-vivo de articulações de joelhos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar, por meio de ensaios biomecânicos, a estabilidade articular e a resistência obtida em joelhos caninos ex-vivo com secção experimental do LCCr e estabilizados pelas técnicas de TPLO e CBLO. Foram incluídos 24 membros pélvicos provenientes de 12 cães de raças, idades e sexo diversos, com peso corporal acima de 21 kg. Após desarticulação coxofemoral e tibiotársica e posterior avaliação radiográfica, os membros foram montados à máquina universal de ensaio mecânico, fixados em plataformas móveis e ligados ao fêmur e à tíbia, com articulação do joelho íntegra angulada em 135°, sendo aplicada carga compressiva vertical de 50% do peso corporal. O LCCr foi então rompido por miniartrótomia craniomedial e foi realizada nova aplicação de carga compressiva vertical. Nos pares de articulações dos joelhos, um lado foi estabilizado pela técnica de TPLO, com ângulo do platô tibial (APT) pós-operatório de aproximadamente 5°, e o lado contralateral pela técnica de CBLO, com APT pós-operatório de aproximadamente 10°. Os membros foram remontados à máquina de ensaio universal, com nova aplicação de força compressiva vertical. A estabilidade articular foi avaliada pelo deslocamento horizontal, que representa o impulso tibial cranial. Por fim, os membros foram posicionados com angulação do joelho em 135°, com fixação do fêmur e da tíbia em plataformas fixas, e foram submetidos ao ensaio de compressão axial destrutivo com aplicação de carga crescente. Foi observado o deslocamento vertical, a carga máxima suportada pelos corpos de prova e características de falha do sistema. Os resultados obtidos não apontaram diferença significativa entre a TPLO e CBLO em relação ao deslocamento horizontal (impulso tibial cranial), à movimentação vertical e força máxima suportada. Em nenhuma das duas técnicas, os dados se aproximaram aos dados do joelho intacto. Conclui-se que não houve diferença em relação à estabilidade articular e resistência na comparação biomecânica das técnicas de TPLO e CBLO, tornando a CBLO uma opção a ser considerada no tratamento da doença do LCCr em cães.

Palavras-chave: Ensaio biomecânico; articulação do joelho; osteotomias tibiais; cão

ABSTRACT

Cranial cruciate ligament (CCL) disease represents one of the most frequent causes of lameness and stifle joint instability in dogs. Surgical intervention aimed at restoring joint stability and eliminating cranial tibial translation remains the treatment of choice. Among tibial osteotomy techniques, the tibial plateau levelling osteotomy (TPLO) is the most widely performed. More recently, alternative techniques such as the CORA-based levelling osteotomy (CBLO) have been developed. The mechanical properties of these newer stabilization methods require assessment using *ex vivo* canine stifle joint models. The objective of this study was to biomechanically evaluate and compare joint stability and resistance in *ex vivo* canine stifles with experimentally transected CCL stabilized using TPLO and CBLO techniques. A total of 24 pelvic limbs from 12 dogs of varying breeds, sexes, and ages, all weighing over 21 kg, were included. Following disarticulation at the hip and tibiotarsal joints and subsequent radiographic evaluation, the limbs were mounted on a biomechanical testing machine, with the femur and tibia secured to mobile platforms and the stifle joint positioned at a 135° angle. A compressive vertical load corresponding to 50% of body weight was applied. The CCL was then transected via craniomedial mini-arthrotomy, followed by reapplication of the same load. The stifles were stabilized using either TPLO technique, with a target postoperative tibial plateau angle (TPA) of 5°, or CBLO technique, with a target postoperative TPA of 10°. The limbs were remounted on the biomechanical testing machine, with a reapplication of compressive vertical load. Joint stability was assessed by horizontal displacement, which represents the cranial tibial thrust. Finally, with the stifle joint maintained at 135° and both the femur and tibia connected on fixed platforms, the limbs underwent destructive axial compression test with increasing load, observing the vertical displacement and the maximum load supported by the test specimens, as well as the failure characteristics of the structure. The results showed no significant difference between TPLO and CBLO techniques in terms of horizontal displacement (tibial thrust), vertical displacement, or maximum load to failure. However, neither technique restored biomechanics equivalent to those of the intact stifle. In conclusion, no differences in joint stability or resistance were found between TPLO and CBLO techniques in biomechanical testing. These findings support CBLO as a viable surgical option for the treatment of CCL disease in dogs.

Keywords: Biomechanical testing; stifle joint; tibial osteotomies; canine

INDICADORES DE IMPACTOS

A pesquisa em biomecânica canina analisada demonstra impactos multidisciplinares, com aplicações práticas no aumento da confiança de uma nova técnica para o tratamento da doença do ligamento cruzado em cães, doença esta que é a afecção ortopédica mais comum em cães. Este estudo sobre análise biomecânica, oferece uma confiança científica, pois simula a carga imposta ao membro durante as atividades no dia a dia dos cães. O impacto tecnológico é a consolidação de protocolos de pesquisa biomecânica para avaliação de movimentos em cães. Economicamente, esta pesquisa promove a difusão das técnicas de osteotomia, com potencial redução de custos em uma afecção, que movimenta bilhões de dólares anualmente no mundo. O impacto social seria a melhoria no bem-estar animal, levando o tratamento de uma doença tão comum, a mais lugares no mundo. O caráter extensionista seria um melhor entendimento dos profissionais veterinários da biomecânica das técnicas cirúrgicas, elevando a confiança em novos protocolos de tratamento. Por ser uma doença de ocorrência mundial, ela impacta profissionais de medicina veterinária em todo o globo terrestre. Este estudo envolveu pesquisadores de diferentes áreas como ortopedia e engenharia, residentes, funcionários e estudantes de iniciação científica. As áreas temáticas da extensão envolvidas são a saúde, pelo tratamento de uma afecção, e tecnologia e produção, pela produção de equipamentos ortopédicos, como placas e parafusos. Este estudo se alinha com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) através do ODS 3 (Saúde e bem-estar) pelo tratamento de lesões ortopédicas, o ODS 4 (Educação de Qualidade) pela formação de estudantes em técnicas cirúrgicas avançadas e ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) pelo desenvolvimento de equipamentos para tratamento de afecções ortopédicas em cães. A pesquisa apresenta relevância internacional, com metodologia replicável em diferentes contextos geográficos, embora necessite de maior divulgação para ampliar seu impacto social direto.

IMPACT INDICATORS

The analyzed research in canine biomechanics demonstrates multidisciplinary impacts, with practical applications in increasing confidence in a new technique for treating cranial cruciate ligament disease in dogs, which is the most common orthopedic condition in this species. This study on biomechanical analysis provides scientific confidence, as it simulates the load imposed on the limb during the daily activities of dogs. The technological impact is the consolidation of biomechanical research protocols for the evaluation of canine movements. Economically, this research promotes the dissemination of osteotomy techniques, with the potential to reduce costs in a condition that moves billions of dollars annually worldwide. The social impact would be the improvement of animal welfare, bringing the treatment of such a common disease to more places around the world. The extensionist character lies in providing veterinarians with a better understanding of the biomechanics of surgical techniques, increasing confidence in new treatment protocols. As this is a globally occurring pathology, it impacts veterinary medicine professionals across the globe. This study involved researchers from different fields such as orthopedics and engineering, residents, staff, and undergraduate research students. The extension thematic areas involved are health, through the treatment of a condition, and technology and production, through the manufacturing of orthopedic equipment such as plates and screws. This study aligns with the Sustainable Development Goals (SDGs) through SDG 3 (Good Health and Well-being) by treating orthopedic injuries, SDG 4 (Quality Education) by training students in advanced surgical techniques, and SDG 9 (Industry, Innovation, and Infrastructure) by developing equipment for the treatment of orthopedic conditions in dogs. The research presents international relevance, with a methodology that can be replicated in different geographical contexts, although it requires broader dissemination to expand its direct social impact.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1 – Componentes do Ligamento Cruzado Cranial (LCCr).....	16
Figura 2 – Representação das forças articulares do joelho	18
Gráfico 1 – APT médio pré-operatório de 3922 joelhos caninos com doença do LCCr.....	19
Figura 3 – Teste de gaveta	21
Figura 4 – Teste de compressão tibial	21
Figura 5 – Medida da distância entre os pontos de origem e inserção do LCCr	22
Figura 6 – Graduação da osteoartrite (OA) no joelho.....	23
Figura 7 – Força articular do joelho.....	24
Figura 8 – Representação do nivelamento do platô tibial.....	25
Figura 9 – Imagens representativas da direção da lâmina radial nas osteotomias.....	26
Figura 10 – Imagens representativas técnica de CBLO e técnica de TPLO	26
Figura 11 – Imagem radiográfica mostrando uma fratura por avulsão.....	30
Figura 12 – Radiográficas ilustrando a evolução pós-operatória da técnica de CBLO	33

CAPÍTULO 2

Figura 1 - Imagem radiográfica da articulação do joelho em projeção mediolateral.....	45
Figura 2 – Aparatos da máquina universal de ensaios mecânicos	46
Figura 3 – Amostra de membro pélvico montado na máquina universal.....	47
Figura 4 – Posicionamento do aparelho radiográfico e biombo no ensaio mecânico.....	48
Figura 5 – Fluxograma set up.....	49
Figura 6 – Imagem radiográfica para o planejamento de TPLO.....	50
Figura 7 – Imagens do membro pélvico submetido à técnica de TPLO.....	51
Figura 8 – Imagem radiográfica para o planejamento de CBLO.....	52
Figura 9 – Imagens do membro pélvico submetido à técnica de CBLO.....	53
Gráfico 1 - Média (em graus) dos ângulos das articulações.....	55
Gráfico 2 - Média (mm) do deslocamento horizontal.....	57
Gráfico 3 – Média (mm) do deslocamento vertical.....	58
Figura 10: Radiografias em projeção mediolateral ao ensaio destrutivo.....	60
Gráfico 4 – Gráfico demonstrando a ruptura pelo programa Blue Hill.....	61
Gráfico 5 - Representação gráfica de carga.....	62

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 – Fatores predisponentes para ruptura do LCCr no cão e LC em humanos.....17

CAPÍTULO 2

Tabela 1 – Dados estatísticos referentes à mensuração do ângulo da articulação54

Tabela 2 – Dados estatísticos referentes aos ângulos na avaliação entre os tratamentos.....55

Tabela 3 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento horizontal.....55

Tabela 4 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento horizontal.....57

Tabela 5 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento vertical.....57

Tabela 6 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento vertical.....58

Tabela 7 – Dados estatísticos referentes à carga máxima suportada.....59

Tabela 8 – Dados estatísticos referentes ao deslocamento vertical carga máxima.....59

Tabela 9 – Dados estatísticos referentes ao APT após carga máxima.....61

LISTA DE ABREVIATURAS

AO	Osteoartrite
ANOVA	Análise de variância
APT	Ângulo do Platô Tibial
CBLO	Osteotomia de nivelamento de platô tibial baseado no CORA
CEUA	Comitê de Ética no Uso de Animais
CORA	Centro Rotação Angulação
CTWO	Cranial Tibial Wedge Osteotomy
CV	Coefficiente de variação
DPOI	Distância entre os pontos de origem e inserção do ligamento cruzado cranial
HV	Hospital Veterinário
kg	Quilograma
LCCr	Ligamento cruzado cranial
TPLO	Osteotomia de nivelamento do platô tibial
TTA	Tibial Tuberosity Advancement
UFLA	Universidade Federal de Lavras

LISTA DE SÍMBOLOS

%	Porcentagem
°	Graus
>	Maior que
<	Menor que
=	Igual

SUMÁRIO

CAPÍTULO 1	15
1 INTRODUÇÃO	15
2 REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1 Etiopatogenia	16
2.2 Sinais clínicos	20
2.3 Diagnóstico clínico	20
2.4 Diagnóstico radiográfico	21
2.5 Modalidades terapêuticas	24
2.5.1 Osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO)	27
2.5.2 Osteotomia de nivelamento baseado no CORA (CBLO)	30
Referências	34
CAPÍTULO 2 – AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DAS TÉCNICAS DE TPLO E CBLO PARA RUPTURA DE LIGAMENTO CRUZADO CRANIAL EM CÃES – ESTUDO EX-VIVO	40
1 INTRODUÇÃO	43
2 MATERIAIS E MÉTODOS	44
2.1 Crítérios de inclusão e exclusão	44
2.2 Grupos e Tratamentos	45
2.3 Coleta de dados	46
2.4 Procedimentos cirúrgicos	49
2.4.1 Osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO)	49
2.4.2 Osteotomia de nivelamento baseado no CORA (CBLO)	51
2.5 Análise estatística	53
3 Resultados	54
4 Discussão	62
5 Conclusão	66
Referências	67

ANEXOS.....	71
--------------------	-----------

Este trabalho de tese está dividido em dois capítulos. No primeiro capítulo está descrita uma ampla revisão de literatura sobre doença do ligamento cruzado cranial (LCCr), com abordagem aos tópicos de anatomia, etiopatogenia, diagnóstico e principais técnicas de tratamento cirúrgico. No segundo capítulo está apresentado o trabalho de pesquisa intitulado: “Avaliação biomecânica das técnicas de TPLO e CBLO para ruptura do ligamento cruzado cranial em cães – estudo *ex vivo*”, que já se encontra redigido no formato de artigo científico.

CAPÍTULO 1

1 INTRODUÇÃO

A estabilização passiva da articulação do joelho dos cães é realizada principalmente pelo ligamento cruzado cranial (LCCr) que, ao perder sua função, acarreta importante instabilidade articular devido à translação cranial da tíbia em relação aos côndilos femorais, com consequente desenvolvimento de osteoartrite (REIF; HULSE; HAUPTMAN, 2002; NANDA; HANS, 2019). Com a progressão da osteoartrite, estes pacientes apresentam sinais clínicos de dor, claudicação e disfunção do membro pélvico (COOK, 2010). Foram estimados gastos com esta afecção, em 2003, de 1.32 bilhões de dólares anualmente, somente nos EUA (WILKE *et al.*, 2005).

Há uma grande variedade de técnicas cirúrgicas para tratamento da doença do LCCr, e os procedimentos geralmente objetivam eliminar dinamicamente a subluxação cranial da tíbia (WARZEE *et al.*, 2001). A técnica de osteotomia tibial mais utilizada é a osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO) (ENGDAHL *et al.*, 2021). Técnica esta criada por Slocum e Slocum (1993) na qual se realiza uma osteotomia radial na tíbia proximal objetivando a rotação do platô tibial para alcançar o ângulo do platô tibial (APT) de aproximadamente 5°.

Foram desenvolvidas novas técnicas de osteotomia da tíbia com possíveis vantagens em relação à TPLO tradicional, tal como a osteotomia de nivelamento baseado no CORA (CBLO) (KAISER; BRUECKER, 2017). Sendo uma das vantagens a obtenção de um maior segmento proximal tibial, mesmo em raças de pequeno porte (WHITNEY *et al.*, 2022). A técnica de CBLO descrita tem a finalidade de obtenção do APT entre 8° e 14° (RASKE *et al.*, 2013; CASTANEDA; BRUECKER, 2014). Porém, acredita-se que o adequado APT no pós-operatório seja de aproximadamente 10° (ARICAN *et al.*, 2024).

Modelos de compressão de membros são frequentemente utilizados para explorar a estabilidade articular após procedimentos de osteotomia para estabilização do membro

pélvico com doença do LCCr, com estudos avaliando as técnicas de CTWO (APELT *et al.*, 2010), TPLO (CAQUIAS, 2013), TTA (OBER *et al.*, 2022) e CBLO (MAZDARANI *et al.*, 2022). Esses modelos simulam as forças musculares durante a fase de apoio, aplicando uma carga axial ao membro.

A TPLO foi e ainda é amplamente estudada, já possuindo resultados bem robustos em relação à sua efetividade e possíveis falhas. A CBLO ainda carece de avaliação biomecânica e clínica a longo prazo, para determinação mais precisa de sua efetividade (CHOATE *et al.*, 2013; TINGA *et al.*, 2022).

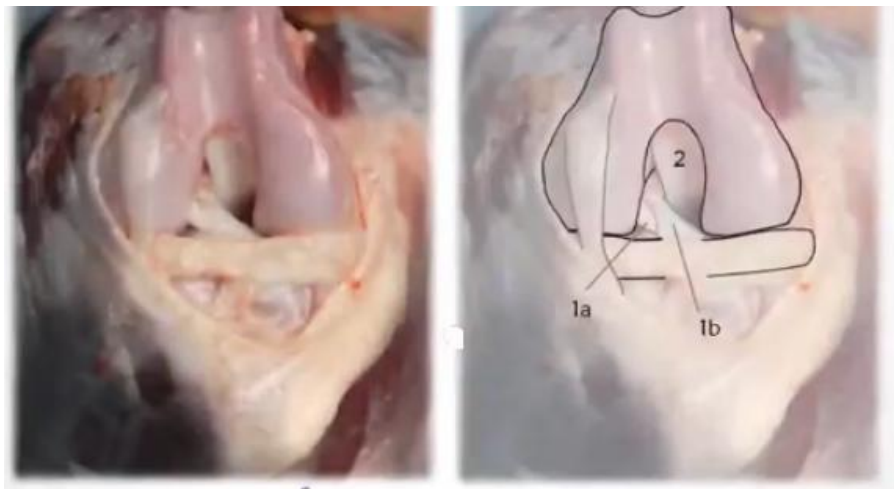
2 REFERENCIAL TEÓRICO

DOENÇA DO LIGAMENTO CRUZADO CRANIAL EM CÃES

2.1 Etiopatogenia

O LCCr (Figura 1) possui as funções de bloquear o deslocamento cranial da tíbia, além de limitar sua rotação medial e prevenir a hiperextensão da articulação do joelho (EVANS e LAHUNTA, 2001).

Figura 1 – Componentes do Ligamento Cruzado Cranial (LCCr). Vista caudal do joelho canino com representação anatômica dos ligamentos cruzados. Ligamento cruzado cranial 1a– banda caudolateral. 1b – banda craniomedial. 2 – Ligamento cruzado caudal.



Fonte: MUIR, 2010.

A doença do LCCr é considerada uma “falência de órgão” ou displasia do joelho (COOK *et al.*, 2010). É a injúria mais comum do joelho canino (SCHLAG; PEYCKE; HULSE, 2020).

A etiopatogenia da doença do LCCr em cães é complexa e multifatorial, sendo um processo degenerativo crônico, envolvendo processos inflamatórios, alterações estruturais, respostas imunológicas e fatores biomecânicos interligados.

A degeneração do LCCr é caracterizada por alterações na matriz extracelular, destruição de colágeno e outros componentes estruturais do ligamento, mediadas por metaloproteinases de matriz (MMPs), como MMP-1 e MMP-3, são estimuladas por proteínas como 14-3-3 η e γ , que estão presentes em níveis elevados no líquido sinovial. (ICHINOHE *et al.*, 2015; SARDARI *et al.*, 2011). Até 91% dos pacientes apresentam reatividade a colágeno tipo I no líquido sinovial, que são gerados em resposta a antígenos derivados do próprio ligamento, indicando um componente imunomediado significativo na patogênese (NIEBAUER *et al.*, 1987).

Os fatores predisponentes podem ser divididos em biológicos como raça, sexo e idade, e fatores biomecânicos como a conformação do joelho (alinhamento dos segmentos ósseos, inclinação do platô tibial) e a força muscular (SPINELLA *et al.*, 2021). A tabela 1 mostra a comparação entre os fatores predisponentes de homens e cães.

Tabela 1 – Fatores predisponentes para ruptura do LCCr no cão e LC anterior em humanos.

Fatores predisponentes	Cão	Homem/Mulher
Raça e peso corporal	Raças de grande porte e cães com sobrepeso	Obesidade
Idade	2-10 anos	15-45 anos
Sexo	Machos e fêmeas castrados	Mulheres > Homens
Deformação do joelho	Posição hiperextendida dos membros pélvicos Genu varum Platô tibial inclinado	Fossa intercondilar estreita Platô tibial inclinado Conformação do joelho Valgus

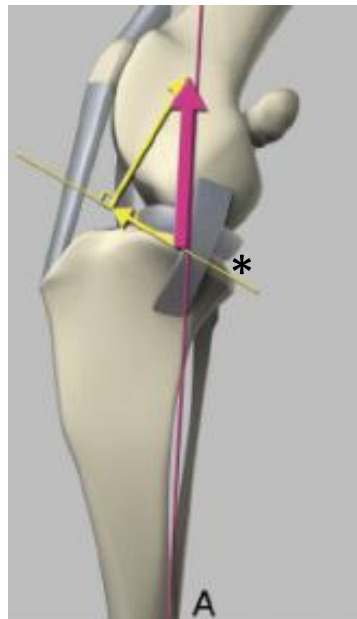
Fonte: Adaptado de Spinella *et al.*, 2021.

Dentre as raças caninas mais comumente acometidas, destacam-se o Boxer, seguido pelo Staffordshire Bull Terrier, o Bichon Frise, o Yorkshire Terrier, o Rottweiler e o Bulldog Francês (ENGD AHL *et al.*, 2021).

Cães com lesão no LCCr possuem o APT significativamente maior do que aquele encontrado na população de cães normais, com pesos, idades e raças similares (FREDERICK; CROSS, 2017; SEO *et al.*, 2020). Os APT maiores que 29° possuem maiores probabilidades

para ruptura do LCCr (ARRUDA *et al.*, 2018; FOX *et al.*, 2020). Este maior ângulo de platô tibial, ocasiona maior força de cisalhamento tibiofemoral cranial (Figura 2) aumentando o estresse sobre o LCCr (KIM *et al.*, 2008).

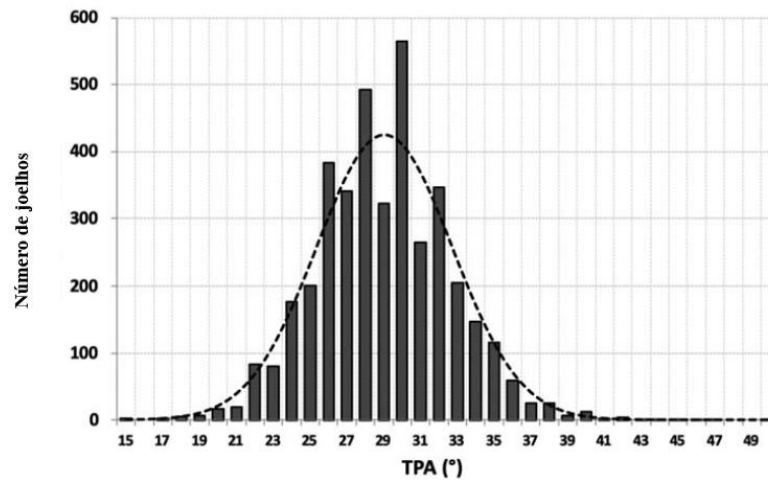
Figura 2 – Representação das forças articulares do joelho. A força articular do joelho (seta rosa) pode ser decomposta em uma força compressiva perpendicular ao platôtibial e uma força de cisalhamento tibiofemoral no sentido cranial.



Fonte: Kim *et al.*, 2008.

Fox *et al.* (2020) encontraram um APT médio pré-operatório de 28.2° para Labradores, 28° para Golden Retrievers, 28° para Boxers, 27° para Rottweilers, 28° para Pastores Alemães e 28,5° para American Staffordshire Terriers. Este estudo ainda observou que cães de pequeno porte possuem maiores APTs que os cães de grande porte, como por exemplo cães das raças Beagle, Bichon Frise, West-Highland Terrier e Yorkshire Terrier, possuindo um APT de 32°, 34°, 35 e 34° respectivamente. O Gráfico 1 mostra o APT médio geral dos cães pesquisados.

Gráfico 1 – APT médio pré-operatório de 3922 joelhos caninos com doença do LCCr



Fonte: Fox *et al.* 2020

Arruda *et al.*, (2018) avaliaram e compararam APTs de cães normais e cães com ruptura espontânea do LCCr, e encontraram ângulo médio de $20.58 \pm 3.62^\circ$ em cães saudáveis e $24.27 \pm 4.18^\circ$ em cães com doença do LCCr.

Interações complexas entre as forças musculares e a biomecânica articular ocorrem nesta afecção. Os músculos do quadríceps desempenham um papel central ao gerar o impulso tibial cranial, pela sua inserção na tuberosidade da tíbia (SPINELLA *et al.*, 2021). A carga por este conjunto de músculos exercida pode aumentar significativamente, atingindo até 95% do peso corporal (RAMIREZ *et al.*, 2015; OBER *et al.*, 2022).

O músculo gastrocnêmio é um contribuinte secundário nas forças de cisalhamento craniais na tíbia (KANNO *et al.*, 2012).

A hipotrofia muscular periarticular reduz a força protetiva de co-contração, acelerando a degeneração articular (ZĂVOI *et al.*, 2022). O fortalecimento direcionado dos músculos semitendíneo e glúteos pode ajudar a reduzir a tensão no LCCr, enquanto o controle da dominância do quadríceps pode diminuir padrões de carga patológicos (RAMIREZ *et al.*, 2015). O músculo semitendíneo age como um agonista do LCCr, reduzindo o deslocamento tibial cranial, por gerar força de cisalhamento caudal (KANNO *et al.*, 2012).

Por fim, a doença LCCr afeta principalmente cães com APT elevado, com membros pélvicos hiperextendidos, levando à metaplasia condroide do próprio ligamento, com redução do colágeno tipo I, aumento do colágeno tipo II, reduzindo elasticidade e resistência mecânica, além de condições hipóxicas no centro do ligamento e alterações degenerativas no joelho (SPINELLA *et al.*, 2021).

2.2 Sinais clínicos

Os pacientes com a doença do LCCr apresentam sinais de dor, claudicação, disfunção do membro e osteoartrite (COOK *et al.*, 2010). Os tutores frequentemente apresentam um histórico sugestivo de trauma e que a claudicação também surgiu de maneira insidiosa, podendo ser unilateral, evoluindo para bilateral, sendo que o apoio pode ser parcial (somente com as pontas dos dedos) ou sem o apoio do membro (MUIR *et al.*, 2010).

Independentemente do método de tratamento cirúrgico em cães com doença do LCCr, a osteoartrite progride e a dor crônica é frequentemente reportada (ENGD AHL *et al.*, 2023). O diagnóstico precoce no início da ruptura das fibras do ligamento associado à uma técnica de osteotomia tibial pode ser benéfico à função da articulação a longo prazo (VASQUEZ *et al.*, 2018).

2.3. Diagnóstico clínico

Uma boa técnica de exame ortopédico pode levar ao diagnóstico da doença do LCCr. À palpação, a circunferência dos músculos do quadríceps poderá estar diminuída, assim como a espessura do joelho poderá estar aumentada, as bordas do ligamento patelar poderão perder sua leve concavidade e poderá ser detectado um espessamento medial da articulação do joelho (HARASEN *et al.*, 2002).

Instabilidade craniocaudal entre a tíbia e o fêmur podem ser identificadas pelo uso do teste de gaveta (Figura 3) e do teste de compressão tibial (Figura 4). Dois detalhes são importantes para a realização destes testes, um é que os dedos do examinador estejam diretamente em contato com as proeminências ósseas, evitando interpretações errôneas devido ao movimento da pele ou sobreposição de tecidos moles; outro detalhe, é repetir os testes com os animais sob anestesia geral, principalmente em casos de artrite crônica com presença de fibrose periarticular, reduzindo a instabilidade (MUIR *et al.*, 2010).

Figura 3 – Teste de gaveta. Para identificar a movimentação craniocaudal do joelho por meio do teste de gaveta os dedos são fixados na tuberosidade da tíbia, na cabeça da fíbula, na patela e na fabela lateral.



Fonte: Muir *et al.*, 2010.

Figura 4 – Teste de compressão tibial. Realizado com o joelho estendido, posicionando-se o indicador sobre a tuberosidade da tíbia para avaliar o grau de movimentação durante a flexão do tarso.



Fonte: Muir *et al.*, 2010.

2.4 Diagnóstico Radiográfico

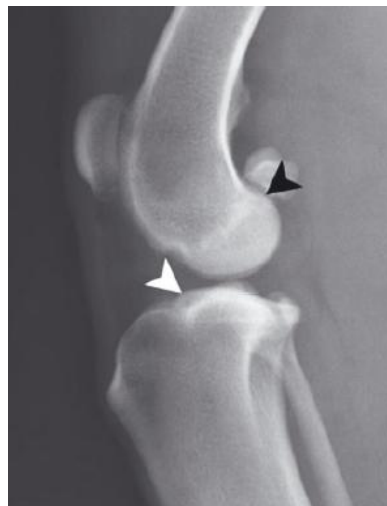
Radiografias são comumente usadas para diagnosticar doenças articulares em cães, embora possua limitações de sensibilidade na detecção precoce (JONES *et al.*, 2022). São essenciais para confirmar o diagnóstico e prognóstico no caso de claudicação aguda em animais jovens, cães idosos com um aumento repentino de dor ou claudicação (BELSHAW *et al.*, 2020).

São várias vantagens pelas quais a radiografia permanece a modalidade de imagem padrão para diagnosticar doenças articulares, especialmente a osteoartrite em cães. A visualização direta de mudanças na conformação óssea, combinada com o histórico e exame clínico, possibilitam um diagnóstico definitivo, além de descartar possíveis diagnósticos diferenciais (BELSHAW *et al.*, 2020). O exame radiográfico está amplamente disponível na rotina veterinária, a um custo inicial alto na aquisição do equipamento, mas posteriormente um custo irrisório a cada exame, tornando-o acessível seu uso na rotina (JONES *et al.*, 2022).

As técnicas radiográficas com projeções específicas são bem estabelecidas para acesso às articulações comumente afetadas pelas doenças articulares em cães, como a coxofemoral, joelho e ombro (ALLAN; DAVIES, 2018). E é recomendada a realização de duas projeções: mediolateral (ML) e craniocaudal (CrCd) (FALEIRO, 2019).

Várias técnicas de exame radiográfico são reportadas para diagnóstico da doença do LCCr, por meio da avaliação da quantificação da subluxação tibial, como o deslocamento dos côndilos femorais ou a fossa do extensor digital longo sobre um plano paralelo ao platô tibial, implantação de marcadores radiográficos radiopacos ou identificação de “landmarks” em relação à inserção e origem do LCCr, chamada de DPOI (PACHECO, 2019; CASTANEDA *et al.*, 2018). A medida do DPOI, mostrada pela figura 5, é a medida da distância entre o ponto de origem do LCCr no fêmur, definido como o ponto da margem caudoproximal dos côndilos femorais imediatamente caudal ao topo da fossa intercondilar, e o ponto de inserção do LCCr na tíbia, definido como o ponto na margem cranial do côndilo medial da tíbia (KIM *et al.*, 2012; PACHECO, 2019).

Figura 5 – Medida da distância entre a origem e a inserção do LCCr. Aferição, em milímetros, da distância da origem (seta preta) e a inserção do LCCr (seta branca).



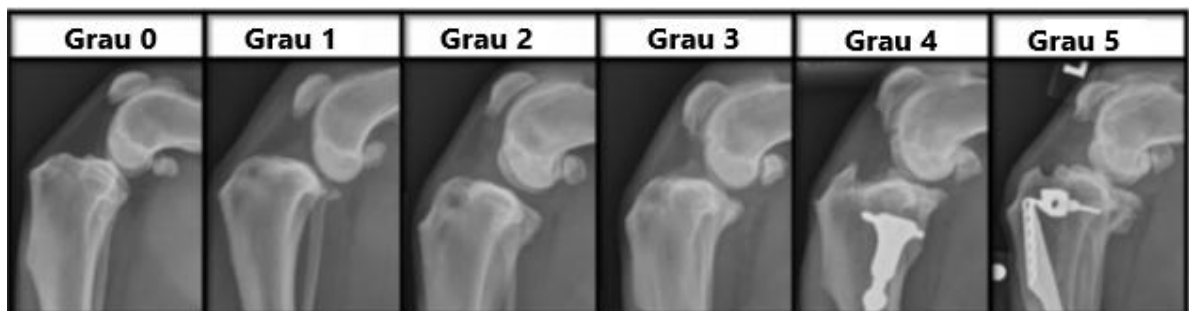
Fonte: Kim *et al.*, 2012

É esperado que com a doença do LCCr a rigidez articular seja diminuída em uma vez e meia, e a translação cranial seja acrescida em quatro vezes, com consequente, sendo que um estudo realizado por Romano *et al.* (2006) encontraram deslocamento cranial médio de 3,47mm em um joelho íntegro e 13,24mm para o joelho com o LCCr lesado. A mensuração do APT é de suma importância para o planejamento cirúrgico nas osteotomias, bem como pode ser considerado um bom indicador e um fator de diagnóstico precoce para doença do LCCr em cães (SEO *et al.*, 2020). Cães com APT alto, maiores que 29°, mesmo com pesos, idades e raças similares, possuem maiores probabilidades para doença do LCCr (SEO *et al.*,

2020; ARRUDA *et al.*, 2018; FOX *et al.*, 2020). O termo ângulo de platô tibial excessivo (eAPT) é definido quando o APT é maior que 34° (FREDERICK; CROSS, 2017).

A presença de efusão articular, osteofitose na borda distal das fabelas e patela, e esclerose óssea na borda troclear e no platô tibial que podem se expandir, em casos graves, para o sulco do músculo extensor digital longo e região caudal do platô tibial, são os principais achados radiográficos da osteoartrite (DE ROOSTER; VAN BREE, 1999). Podem ainda serem encontradas alterações como estreitamento do espaço articular, remodelação óssea, distensão da cápsula articular e mineralização dos tecidos moles (KOWALESKI *et al.*, 2012). Mudanças radiográficas associadas com osteoartrite incluem osteófitos, esclerose óssea subcondral e efusão articular (BAKKER *et al.*, 2021). Ainda incluem diminuição do espaço articular e erosões (BOHNDORF; SCHAML, 1996). Esta afecção pode ser graduada radiograficamente (Figura 6).

Figura 6 – Graduação da osteoartrite (OA) no joelho. Grau 0 é normal, sem OA e sem derrame ou osteófitos. Grau 1 possui OA precoce com apenas derrame no joelho, sem osteófitos. Grau 2 com OA discreta, osteófitos apenas na patela e tróclea femoral. Grau 3 com OA moderada e pequenos osteófitos. Grau 4 com OA moderada a grave, osteófitos médios a grandes, esclerose subcondral leve a moderada. Grau 5 com osteófitos em toda a articulação, calcificação acentuada e esclerose subcondral.



Fonte: MOORE *et al.*, 2020

No pré-cirúrgico, a radiografia é utilizada para avaliar a extensão da lesão, a presença de degeneração articular, e a presença de alterações nos ossos envolvidos, além de descartar diagnósticos diferenciais como neoplasias ou fraturas (KOWALESKI *et al.*, 2012). Um bom exame radiográfico no pré-cirúrgico deve ser feito com aparelhagem digital, o raio em sentido mediolateral deve estar centralizado sobre o joelho, colimado para incluir toda a tíbia e a metade distal do fêmur paralelos à superfície, e côndilos femorais sobrepostos com no máximo 2mm de distância entre suas bordas (Figura 7) (PACHECO, 2019; CASTANEDA *et al.*, 2018). Os cães devem ser posicionados em decúbito lateral e deve-se assegurar o contato direto do joelho e da articulação tarsal com o cassete (ARRUDA *et al.*, 2018).

Figura 7 – Radiografia em projeção médio-lateral (ML) do joelho direito. A radiografia mostra o adequado posicionamento dos côndilos femorais (seta branca), que estão bem sobrepostos. Observa-se também a presença do sesamoide do músculo poplíteo (seta verde), o que indica bom posicionamento para a aferição do ângulo patelotibial (APT).



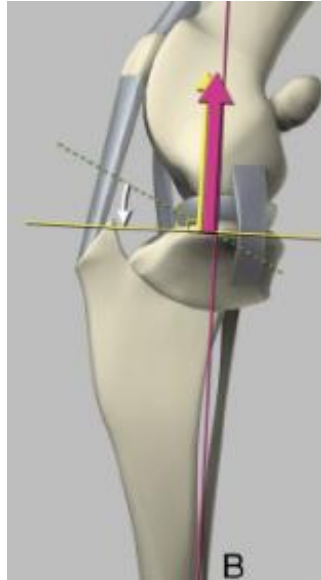
Fonte: do autor

As limitações da radiografia incluem a limitada sensibilidade antes que as alterações ósseas estejam visíveis e os achados radiográficos nem sempre se correlacionam bem com o grau dos sinais clínicos encontrados (JONES *et al.*, 2022). Exames de imagem mais avançados como a tomografia computadorizada e a ressonância magnética podem prover informações adicionais em determinados casos (JONES *et al.*, 2022).

2.5 Modalidades terapêuticas

Em todas as técnicas, o objetivo do tratamento cirúrgico é eliminar a subluxação cranial da tibia, e algumas delas ainda limitam a rotação interna da tibia durante a marcha (WARZEE *et al.*, 2001). A técnica mais usada mundialmente para osteotomia da tibia é *Tibial Plateau Levelling Osteotomy* (TPLO), que busca corrigir a instabilidade do joelho durante o apoio por meio da modificação anatômica do platô tibial (DUERR *et al.*, 2014). Slocum e Slocum em 1993, introduziram o “modelo ativo” da articulação do joelho, sugerindo que a força de cisalhamento tibial é influenciada tanto pela força compressiva do joelho, tanto pelo APT (Figura 8).

Figura 8 – Representação do nivelamento do platô tibial. A imagem demonstra o nivelamento do platô tibial. As setas rosa e amarela apontam na mesma direção, indicando a neutralização da força de cisalhamento cranial. A seta branca destaca a alteração na inclinação do platô tibial após o nivelamento.

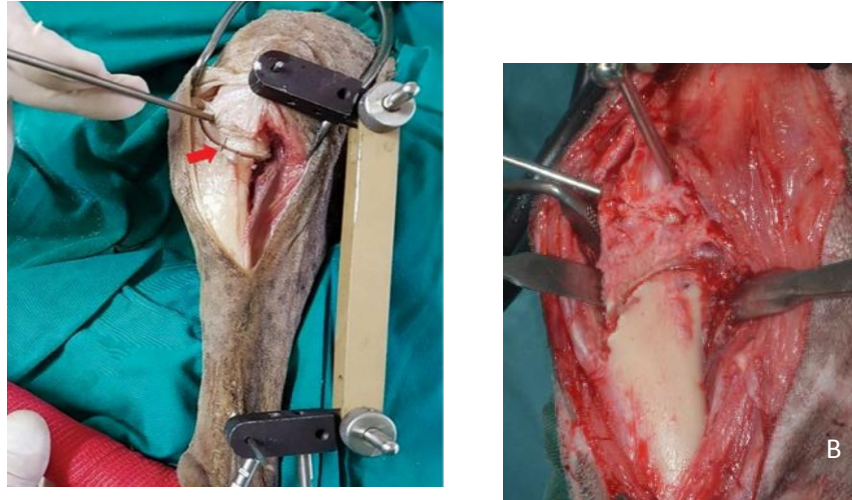


Fonte: Kim *et al.*, 2008

Slocum e Slocum, objetivando obter um APT de 5° na técnica de TPLO, realizou uma osteotomia radial na tíbia, centrada na eminência intercondilar, para rotacionar o platô tibial. A técnica de *CORA Based Levelling Osteotomy* (CBLO) objetiva corrigir o procurvatum proximal da tíbia, usando os princípios da metodologia do CORA para reduzir o APT, além de promover um deslocamento cranial do eixo mecânico da tíbia (PALLEY *et al.*, 2002; RASKE *et al.*, 2013). Na intersecção entre o eixo anatômico do segmento proximal e distal da tíbia está localizado o CORA, que será o centro da osteotomia para rotacionar o platô, sendo no ângulo CORA que se define a rotação necessária para atingir o APT ideal (PALLEY *et al.*, 2002; RASKE *et al.*, 2013). A técnica de CBLO descrita objetiva a obtenção de um APT entre 8° e 14° (RASKE *et al.*, 2013; CASTANEDA; BRUECKER, 2019).

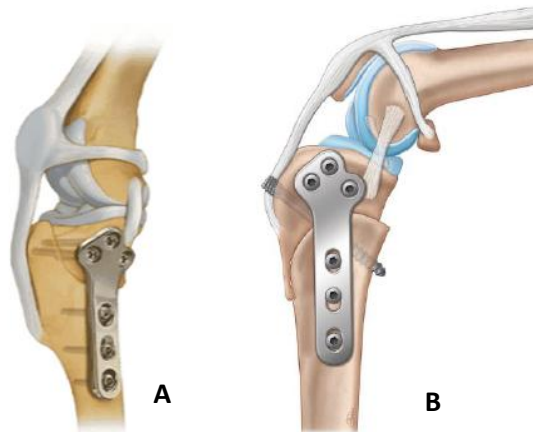
A osteotomia radial na TPLO é realizada com a lâmina em sentido ventral, com o centro de rotação dorsal à mesma, como a imagem de um sorriso. No caso da CBLO, a osteotomia é realizada com o centro de rotação ventral à lâmina, que está orientada dorsalmente, como mostrado na figura 9. E a figura 10 mostra a apresentação pós cirúrgica das duas técnicas.

Figura 9 – Imagens representativas da direção da lâmina radial nas osteotomias. A – Orientação do corte na osteotomia da tíbia na técnica de TPLO (seta vermelha). B – Apresentação do corte após a realização da osteotomia na técnica de CBLO.



Fonte: A – Tudury e Queiroz, 2018; B - Mercês *et al.*, 2015

Figura 10 – Imagens representativas das técnicas de TPLO (A) e CBLO (B). Notar o posicionamento final da osteotomia em ambas as figuras e a presença do parafuso atravessando a osteotomia na CBLO



Fonte: RASKE *et al.*, 2013.

Quando se faz necessário decidir entre a TPLO e a CBLO para tratamento da doença LCCr em cães é essencial considerar vários fatores. A TPLO é reconhecida mundialmente como padrão ouro para este tratamento. Por outro lado, a CBLO se mostra promissora com algumas vantagens em relação à TPLO. A opção cirúrgica ideal deve promover o retorno consistente da função do membro afetado para o normal ou perto do normal, com mínimo risco de morbidade (NANDA; HANS, 2019)

Dentre os fatores para recomendação de uma ou outra técnica podem ser considerados a efetividade da técnica, risco de complicações, custo, disponibilidade e função do membro a longo prazo (KISHI; HULSE, 2016). Os fatores inerentes ao animal como idade, peso e nível de atividade, e ainda referentes à experiência ou preferência pessoal do cirurgião, também devem ser considerados (FALEIRO, 2019).

Após a finalização do procedimento de TPLO ou CBLO, são seguidos alguns critérios para a avaliação radiográfica do procedimento. O APT deve estar em torno de 5° na TPLO e em torno de 10° na CBLO, com todos os parafusos atravessando ambas as corticais (parafusos bicorticais), nenhum parafuso atravessando a linha de osteotomia ou entrando no espaço articular, sem furos ou parafusos na fíbula, sem lacuna visível entre a tíbia e a placa, e todos os parafusos assentados corretamente na placa (BISKUP *et al.*, 2018).

A consolidação óssea pós-cirúrgica pode ser verificada por meio da radiografia mediolateral e é baseada em um sistema de graduação de 5 pontos (0: sem união óssea; 1: 25%; 2: 26-50%; 3: 51-75%; 4: 76-100% de união óssea) (RASKE *et al.*, 2013). Fatores como a restrição insuficiente de exercícios ou doenças concomitantes podem contribuir para a não união óssea dos segmentos (BISKUP *et al.*, 2018). Nenhum procedimento é reconhecidamente superior ao outro em resultados a longo prazo, sendo esperado uma recuperação clínica satisfatória em 85 a 90% dos casos, independente da técnica escolhida (OBER *et al.*, 2019).

Por último, mas não menos importante, os custos devem ser levados em consideração com ambas as técnicas, que possuem alto valor devido à instrumentação especializada, implantes específicos e requerem cuidados perioperatórios em centros cirúrgicos especializados (NANDA.; HANS, 2018).

2.5.1 Osteotomia de Nivelamento do Platô Tibial (TPLO)

Muitas técnicas cirúrgicas têm sido descritas para estabilizar a articulação do joelho, e a TPLO é o tratamento cirúrgico mais recomendado atualmente no mundo (ENGDAHL *et al.*, 2021). Slocum e Slocum (1993) introduziram a técnica de TPLO, realizando uma osteotomia radial objetivando rotacionar o platô para atingir o APT de 5°. Entretanto Robinson *et al.* (2006) aferindo a força de reação ao solo em animais com doença do LCCr tratados com TPLO, após 4 a 17 meses, observaram uma relação não significativa com o APT pós-cirúrgico entre 0° e 14°. Porém, Burke *et al.* (2019) demonstraram que o ângulo ideal deverá ser de

aproximadamente 6,5° para neutralizar o avanço cranial da tíbia e mitigar o avanço caudal pós-cirúrgico.

A TPLO possui a vantagem não modificar a tuberosidade tibial preservando a articulação femoropatelar, e manter uma precisão geométrica da articulação (KIM *et al.*, 2008). Porém, como todos os tipos de cirurgias, apresentam riscos de complicações. As complicações da TPLO podem diferir em relação à gravidade, variando desde edema e hematoma até osteomielite e fraturas, sendo comparáveis a outros métodos de osteotomia (BERGH; PEIRONE, 2012; BISKUP *et al.*, 2018). Elas podem ser classificadas em complicações catastróficas, complicações maiores e complicações menores, sendo que a primeira causa função inaceitável do membro ou foi relacionada diretamente à morte. Na segunda, a resolução se dá com intervenção médica ou cirúrgica e a última não se faz necessário outro tratamento médico ou cirúrgico para resolução (KISH; HULSE, 2016).

Estudos indicam que aproximadamente 9% a 18,5% dos procedimentos de TPLO ocorrem complicações, sendo destas 1,5% a 6,6% são complicações maiores, ou seja, necessitam de revisão cirúrgica (BERGH; PEIRONE, 2012). Complicações maiores associadas à TPLO incluem infecções, fraturas tibiais, lesão no ligamento patelar, lesão de menisco e falha do implante (BISKUP *et al.*, 2018).

Infecção pós cirúrgica é a complicação mais comum após a TPLO tendo um impacto negativo no bem-estar do paciente, satisfação do cliente e maior aporte financeiro (SOLANO *et al.*, 2015). No estudo de Husi *et al.*, (2023), avaliaram os dados de 769 procedimentos de TPLO, de 2005 a 2015, e infecção foi a complicação mais frequente, com 8,5% dos casos. Neste estudo, o uso de implantes não bloqueados foi encontrado ser protetivo. No estudo de Filipo *et al.*, (2025), avaliaram 112 casos de TPLO entre 2017 e 2019, recebendo ou não antibioticoterapia consequente à cirurgia, observaram 4,9% de infecção no grupo tratado e 5,9% de infecção no grupo não tratado, sem diferença significativa entre os grupos.

Korytárová *et al.*, (2024), em seu estudo com 98 cães pós TPLO, entre 2018 e 2020 encontraram 10,2% de procedimento que desenvolveram infecção pós cirúrgica. Além disso não encontraram uma relação entre cultura bacteriana positiva coletada no transoperatório com o desenvolvimento de infecções. Micromovimento no local da osteotomia pode ser responsável por aumento nas taxas de infecção, principalmente em raças de cães grandes e gigantes (NANDA; HANS, 2019). A ocorrência de complicações na TPLO foi associada ao maior peso do cão no momento da cirurgia, com nenhuma outra variável demonstrando ser um fator de risco (TIKEKAR *et al.*, 2022).

A quebra da placa ou de parafusos, perda de parafusos e falha do implante são reportados em alguns casos, sendo que esta deficiência mecânica pode levar à perda parcial da rotação do seguimento proximal e/ou desenvolvimento de união tardia, não união ou má união (SOLANO *et al.*, 2015).

O menisco pode demonstrar normalidade durante o procedimento cirúrgico, mas devido à remanescente instabilidade, ele pode desenvolver lesões (ENGDAHL *et al.*, 2021). Esta lesão pode ser explicada pela alteração na geometria que a TPLO causa, alterando a distribuição de pressão na porção caudal da articulação (BOUDRIEAU, 2009).

A inflamação e espessamento do ligamento patelar, chamada de tendinite patelar ou desmopatia patelar, tem sido reportada após a técnica de TPLO, e possivelmente pode estar associada com aumento na força de tensão do ligamento patelar após a cirurgia (CAREY *et al.*, 2005). Até 80% dos casos clínicos mostram evidência de espessamento moderado a grave, com dois meses de pós-operatório (FALEIRO, 2019).

Cães observados durante dois meses após TPLO, foram avaliados clinicamente através do grau de claudicação, que diminuíram significativamente todos os casos, com nenhum deles com claudicação grave após o período estudado. Porém, mais da metade possuía claudicação detectável (FALEIRO, 2019). Outros parâmetros observados neste estudo foram a efusão articular, a espessura do ligamento patelar, além da força de reação ao solo, todos com parâmetros levemente alterados, mas influenciados pelo curto tempo de avaliação pós cirúrgicos.

Observação radiográfica e clínica oito semanas após TPLO, em 90 cães com peso menor que 15kg, revelou plena recuperação da osteotomia, além da recuperação da claudicação em todos os casos. Ocorreram complicações maiores em 4,44% dos casos, como deiscência parcial da ferida cirúrgica, que foi solucionada com aplicação de antibiótico sem necessidade de revisão cirúrgica (MARIN *et al.*, 2021). Em um estudo mais recente, com 136 cães, entre 3 a 14 semanas após a cirurgia de TPLO, o índice de complicação geral foi de 17,65%, onde 22,3% cães de grande porte, 9,8% em cães de pequeno porte e 6,25% em raças toy (SCHUENEMANN; KACZMAREK, 2023)

Em um estudo experimental com TPLO foi identificado que 67% dos cães desenvolveram sinais moderados de osteoartrite e 15% de lesão de menisco medial após 32 semanas (JEONG *et al.*, 2021). Cães tratados cirurgicamente para doença LCCr desenvolveram comumente rigidez, claudicação e diminuição da função do membro, em média, 4,6 anos após a cirurgia (ENGDAHL *et al.*, 2023).

Fraturas intra e pós-operatórias, embora incomuns, podem ocorrer após osteotomias corretivas de TPLO (BERGH; PEIRONE, 2012). Podem ocorrer fratura da patela, da fíbula e da tíbia (FALEIRO, 2019). A fratura por avulsão da tuberosidade da tíbia é uma complicação maior associada à TPLO reportada em 1% a 9% dos pacientes (HAMILTON *et al.*, 2015; JAWORSKI *et al.*, 2024) (Figura 11). Este risco aumenta em pacientes com eAPT (ângulo muito alto) onde o segmento proximal precisa ser rotacionado a um ponto distal à inserção do ligamento patelar (*safe point*) (SCHLAG *et al.*, 2020; JAWORSKI *et al.*, 2024). A rotação excessiva do platô na TPLO pode aumentar a tensão no ligamento cruzado caudal causando sua ruptura (HAMILTON *et al.*, 2015).

Figura 11 – Imagem radiográfica mostrando uma fratura por avulsão. A seta indica o local da fratura por avulsão da tuberosidade da tíbia, observada no pós-operatório (D+5) da osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO).



Fonte: MEHRKENS *et al.*, 2018

Embora a progressão da osteoartrite geralmente ocorra após TPLO, a presença de sinais degenerativos na articulação do joelho não está relacionada com os sinais clínicos (GORDON *et al.*, 2003).

2.5.2 Osteotomia de Nivelamento Baseado no CORA (CBLO)

As técnicas de osteotomias tibiais baseadas no CORA, tal como a CBLO, possuem algumas vantagens em relação à TPLO convencional, como permitir procedimentos auxiliares para estabilização, não causam translação secundária pós-cirúrgica e não afetam a cartilagem

articular. (KISHI; HULSE, 2016), e ainda possibilita melhor alinhamento entre os segmentos ósseos (ARICAN *et al.*, 2024). Na CBLO, como a epífise proximal é preservada, possibilita procedimentos auxiliares para estabilização como suturas ou transposição da tuberosidade tibial (KISHI; HULSE, 2016). E como os eixos anatômico e mecânico são aproximados, minimizam a subluxação tibial caudal (TINGA *et al.*, 2022).

A CBLO ainda possui algumas vantagens adicionais sobre a TPLO, como não interferir na placa epifisária, podendo ser indicada para animais jovens em crescimento (PEYCKE *et al.*, 2022). Há mais osso proximalmente, aumentando a estabilização, mesmo em raças bem pequenas, e o parafuso de compressão sem cabeça permite ainda mais estabilidade e contato ósseo, sendo que a osteotomia está distante da cartilagem articular sem vazamento de fluido sinovial (KISHI; HULSE, 2016). Ainda possui menor taxa de complicações com consolidação óssea mais rápida, mesmo em animais com APT elevado, e reduzido índice de lesões de menisco pós cirúrgico, além de ótimos resultados em cães atléticos ou obesos (FALEIRO, 2019).

A movimentação craniocaudal é mitigada, porém não eliminada pela CBLO, apesar da melhora substancial da função do membro. Em um estudo, 3 de 4 cães desenvolveram hiperextensão do joelho durante a fase de apoio em 6 meses após a cirurgia (TINGA *et al.*, 2022). A CBLO ainda carece de avaliação biomecânica e principalmente estudos clínicos a longo prazo, para determinação mais precisa de sua efetividade (TINGA *et al.*, 2022). Análise em placa de força, observação visual da deambulação, exame ortopédico e fisioterapêutico, radiografia para avaliação da progressão da osteoartrite e questionário para tutores são usados para avaliação de resultados dos tratamentos (FALEIRO, 2019).

A TPLO pode ocasionalmente converter o avanço cranial tibial em avanço caudal da tíbia e o mesmo se esperava para a CBLO, porém o APT final de 10°, ao contrário de 5° na TPLO, proporciona menor movimentação caudal da tíbia, com conseqüente menor estresse intra-articular a longo prazo (KANNO *et al.*, 2019; MERCÊS *et al.*, 2015).

Tanto a TPLO quanto a CBLO objetivam prevenir ou limitar a translação cranial da tíbia na fase de apoio da deambulação, mas elas não são eficientes na fase aérea, além de não proporcionarem a estabilização da rotação tibial, e isto tem contribuído para a progressão das lesões da cartilagem articular e patologia dos meniscos (TINGA *et al.*, 2022; SHIMADA *et al.*, 2020). Em um estudo com artroscopia após TPLO, a maioria dos cães desenvolveram danos nas cartilagens dos côndilos femorais, em média, 35 meses após a cirurgia (HULSE *et al.*, 2010). Os mesmos autores observaram, agora com CBLO, que aos 14 meses após a cirurgia, ocorreu mínimo a nenhum dano aparente na cartilagem articular (VASQUEZ *et al.*,

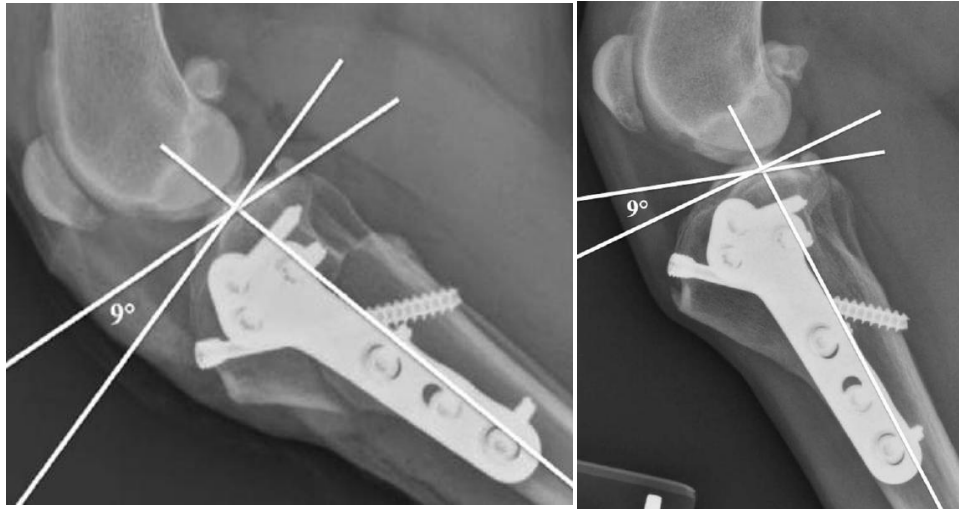
2018). Em ambos os estudos, a razão mais comum para uma segunda revisão artroscópica nas duas técnicas foi lesão tardia de menisco.

A consolidação óssea pós-cirúrgica avaliada por meio da radiografia parece consistente na CBLO quanto na TPLO, esta última ultrapassando 83% de recuperação grau 4 (RASKE *et al.*, 2013). Em um estudo radiográfico após CBLO obteve-se recuperação de grau 3 e 4 em 97% dos casos aos 63 dias, sendo 69% de grau 4, sem complicações catastróficas (KISHI; HULSE, 2016). Neste mesmo estudo as complicações maiores ocorreram em 16% dos casos e foram relacionadas a inflamação da incisão, lesão de menisco e revisão da osteotomia.

A associação das técnicas CBLO e CCWO (osteotomia em cunha fechada cranial) para cães com eAPT resultou em recuperação grau 4 em oito semanas após cirurgia com poucas complicações e retorno total do membro operado (SCHLAG *et al.*, 2020). Outra combinação avaliada radiograficamente foi de CBLO e TTO (osteotomia da tuberosidade tibial), imediatamente, 30 e 60 dias após a cirurgia, promovendo neutralização do deslocamento cranial da tibia, sem mudança no APT pós-cirúrgico (Figura 12) (MERCÊS *et al.*, 2015). Cães em 6 a 12 meses após CBLO, aferidos com precisão por plataforma de pressão, retornaram à total função do membro, sendo a CBLO considerada uma ótima opção para tratar a doença do LCCr em cães (COSKUN; VISKJER, 2023).

A CBLO pode levar a algumas complicações como o desenvolvimento de hiperextensão dos membros pélvicos (TINGA *et al.*, 2022) e ocasionar alteração moderada na cartilagem articular do joelho (VASQUEZ *et al.*, 2018). Em um estudo com 70 cães pós CBLO, 4% tiveram função inaceitável do membro com um grau de complicação geral de 16% (KISHI; HULSE, 2016). No estudo de Faleiro (2019), a espessura do tendão patelar antes da cirurgia foi considerada normal em todos os pacientes (grau 0). Dois meses após a CBLO, a espessura do tendão patelar foi classificada em grau 1 em 47% dos cães, e em grau 2 em 37% dos cães. No mesmo estudo também foi observado um aumento significativo do grau de efusão articular. Em um estudo que avaliou os resultados aos 45 dias pós CBLO, foi observado claudicação leve, após exercício, em 30% dos casos. No mesmo estudo, em 50% dos casos não houve alteração na plataforma de força, mas sem relação com sinais clínicos (ARICAN *et al.*, 2024)

Figura 12 – Radiográficas ilustrando a evolução pós-operatória da técnica de CBLO. A – Radiografia no pós-operatório imediato. B – Radiografia de revisão realizada aproximadamente 15 meses após a cirurgia, evidenciando a consolidação óssea e o posicionamento do implante.



Fonte: KISHI; HULSE, 2016.

REFERÊNCIAS

- APELT, D. et al. Effect of cranial tibial closing wedge angle on tibial subluxation: an ex vivo study. **Veterinary Surgery**, v. 39, n. 4, p. 454-459, 2010.
- ARICAN, M. et al. Cranial Cruciate Ligament Rupture in Dogs-Evaluation of Postoperative Results of the CBLO Technique. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 52, 2024
- ARRUDA, A. F. D.P., et al. Radiographic assessment of the proximal tibial angles in dogs and cats with and without cranial cruciate ligament rupture. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, p. 1190-1195, 2018.
- BELSHAW, Z; DEAN, R; ASHER, L. Could it be osteoarthritis? How dog owners and veterinary surgeons describe identifying canine osteoarthritis in a general practice setting. **Preventive veterinary medicine**, v. 185, p. 105198, 2020.
- BERGH, M. S.; PEIRONE, B. Complications of tibial plateau levelling osteotomy in dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 25, n. 05, p. 349-358, 2012.
- BISKUP, J.J. et al. Contribution of antirotational pins and an intact fibula to the ex vivo compressive strength of four tibial plateau leveling osteotomy constructs. **American journal of veterinary research**, v. 79, n. 6, p. 621-627, 2018.
- BOHNDORF, K; SCHALM, J. Diagnostic radiography in rheumatoid arthritis: benefits and limitations. **Baillière's clinical rheumatology**, v. 10, n. 3, p. 399-407, 1996.
- BOUDRIEAU, R. J. Tibial plateau leveling osteotomy or tibial tuberosity advancement?. **Veterinary Surgery**, v. 38, n. 1, p. 1-22, 2009.
- CAQUÍAS, D. F. Estudo biomecânico ex vivo da tensão do ligamento patelar à flexão do joelho com as técnicas de avanço da tuberosidade tibial (TTA) e osteotomia niveladora do platô tibial (TPLO), comparadas com tíbias não osteotomizadas. 2013. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.
- CASTANEDA, K. A.; HUDSON, C. C.; BEALE, B. S. Ex vivo preliminary investigation of radiographic quantitative assessment of cranial tibial displacement at varying degrees of canine stifle flexion with or without an intact cranial cruciate ligament. **BMC veterinary research**, v. 14, p. 1-9, 2018.
- CASTANEDA, K; BRUECKER, K.A. TPLO (Tibial Plateau Leveling Osteotomy) Based on Center of Rotation and Angulation (CORA): Description of Pre-Surgical Planning and Surgical Technique. **In Veterinary Orthopedic Society Annual Conference Abstracts**, 2019.
- CHOATE, C. J. et al. Assessment of the craniocaudal stability of four extracapsular stabilization techniques during two cyclic loading protocols: a cadaver study. **Veterinary Surgery**, v. 42, n. 7, p. 853-859, 2013.

COOK, J. L. Cranial cruciate ligament disease in dogs: biology versus biomechanics. **Veterinary Surgery**, v. 39, n. 3, p. 270-277, 2010.

COSKUN, Ö; VISKJER, S. Evaluating the outcome after center of rotation of angulation (CORA)-based leveling osteotomy (CBLO) technique to repair unilateral cranial cruciate ligament deficiency using a pressure-sensitive walkway system. **Canadian Journal of Veterinary Research**, v. 87, n. 2, p. 157-164, 2023.

DE ROOSTER, H.; VAN BREE, B. Diagnosis of cranial cruciate ligament injury in dogs by tibial compression radiography. **Journal of Small Animal Practice**. v.40, p.573-576, 1999.

DUERR, F. M., et al. Treatment of canine cranial cruciate ligament disease. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 27, n. 06, p. 478-483, 2014.

ENGDAHL, K. et al. The epidemiology of stifle joint disease in an insured Swedish dog population. **Veterinary Record**, v. 189, n. 3, p. no-no, 2021.

ENGDAHL, K. et al. Long- term outcome in dogs with cranial cruciate ligament disease evaluated using the canine orthopaedic index. **Veterinary Record**, v. 193, n. 12, p. no-no, 2023.

EVANS, H.E.; LAHUNTA, A. **Guia para a dissecação do cão**. 5.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2001. 250 p.

FALEIRO, M.C.S.P. Estudo Retrospectivo da Relação do Ângulo do Plateau Tibial Pós-operatório Presença de Efusão Articular e Espessura do Tendão Patelar Com a Evolução Clínica em Canídeos Após TPLO. Tese de Doutorado. Universidade de Lisboa (Portugal), 2019.

FOX, E. A., et al. Average tibial plateau angle of 3,922 stifles undergoing surgical stabilization for cranial cruciate ligament rupture. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 33, n. 03, p. 167-173, 2020.

FREDERICK, S.W.; CROSS, A. R. Modified cranial closing wedge osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament insufficiency in dogs with excessive tibial plateau angles: technique and complications in 19 cases. **Veterinary surgery**, v. 46, n. 3, p. 403-411, 2017.

GORDON, W. J. et al. The relationship between limb function and radiographic osteoarthritis in dogs with stifle osteoarthritis. **Veterinary Surgery**, v. 32, n. 5, p. 451-454, 2003.

HAMILTON, K. et al. Effect of osteotomy position and tibial plateau rotation on the tensile force required for failure of the canine quadriceps mechanism. **Veterinary Surgery**, v. 44, n. 6, p. 763-771, 2015.

HARASEN, G. Diagnosing rupture of the cranial cruciate ligament. **The Canadian Veterinary Journal**, v. 43, n. 6, p. 475, 2002.

HULSE, D.; BEALE, B.; KERWIN, S. Second look arthroscopic findings after tibial plateau leveling osteotomy. **Veterinary Surgery**, 39:350-354, 2010.

HUSI, B. et al. Surgical site infection after 769 tibial plateau leveling osteotomies. **Frontiers in veterinary science**, v. 10, p. 1133813, 2023.

ICHINOHE, T. et al. Degenerative changes of the cranial cruciate ligament harvested from dogs with cranial cruciate ligament rupture. **J Vet Med Sci**. 2015 Jul;77(7):761-70. doi: 10.1292/jvms.14-0383. Epub 2015 Feb 17. PMID: 25716871; PMCID: PMC4527496.

JAWORSKI, J. et al. Cadaveric comparison of two techniques for intraoperative placement of tibial plateau levelling osteotomies in dogs. **Veterinary Record**, p. e3901, 2024.

JEONG, J. et al. Subsequent meniscal tears following tibial tuberosity advancement and tibial plateau leveling osteotomy in dogs with cranial cruciate ligament deficiency: An in vivo experimental study. **Veterinary Surgery**, v. 50, n. 5, p. 966-974, 2021.

JONES, G.M.C; PITSILLIDES, A.A.; MEESON, R.L. Moving beyond the limits of detection: the past, the present, and the future of diagnostic imaging in canine osteoarthritis. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, p. 789898, 2022.

KANNO, N et al. In vitro evaluation of the relationship between the semitendinosus muscle and cranial cruciate ligament in canine cadavers. **American Journal of Veterinary Research**, v. 73, n. 5, p. 672-680, 2012.

KANNO, N. et al. Effect of the centre of rotation in tibial plateau levelling osteotomy on quadriceps tensile force: an ex vivo study in canine cadavers. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 32, n. 02, p. 117-125, 2019.

KIM S.E.; POZZI A.; KOWALESKI, M.P; LEWIS, D.D. Tibial osteotomies for cranial cruciate ligament insufficiency in dogs. **Veterinary Surgery**, 37 (02):111–125, 2008.

KIM S, LEWIS D, POZZI A. Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial subluxation: in vivo analysis during standing. **Veterinary Surgery**, 41:465-470, 2012.

KISHI, E. N.; HULSE, D. Owner evaluation of a CORA- based leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament injury in dogs. **Veterinary Surgery**, v. 45, n. 4, p. 507-514, 2016.

KORYTÁROVÁ, N. et al. Clinical relevance of positive intraoperative bacterial culture in tibial plateau leveling osteotomy in dogs: a retrospective study. **BMC veterinary research**, v. 20, n. 1, p. 175, 2024.

KOWALESKI, M. P., BOUDRIEAU, R. J., POZZI, A. Stifle Joint. In K.M. Tobias & S.A. Johnston. **Veterinary Surgery Small Animals**. St. Louis, Missouri: Elsevier, Saunders. pp.906-970, 2012.

MAZDARANI, P; PEDRAM, M. S.; MILES, J. E. Effect of center of rotation of angulation- based leveling osteotomy on ex vivo stifle joint stability following cranial cruciate ligament transection and medial meniscal release with and without a hamstring load. **Veterinary Surgery**, v. 51, n. 6, p. 940-951, 2022.

MARIN, K. et al. Risk factors for short-term postoperative complications in the 8 weeks after tibial plateau leveling osteotomy in dogs weighing less than 15 kilograms: a retrospective study. **Plos one**, v. 16, n. 2, p. e0247555, 2021.

MERCÊS, G. et al. Nivelamento do platô tibial baseado no cora e avanço da tuberosidade da tíbia para tratamento de lesão do ligamento cruzado cranial-relato de caso. **Enciclopedia biosfera**, v. 11, n. 22, 2015.

MEHRKENS, L. R. et al. Factors associated with early tibial tuberosity fracture after tibial plateau leveling osteotomy. **Veterinary Surgery**, v. 47, n. 5, p. 634-639, 2018.

MOORE, E. V.; 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. **Veterinary surgery**, v. 49, n. 1, p. 146-154, 2020.

MUIR, P. **Advances in the Canine Cruciate Ligament Rupture**, Wiley-Blackwell, Iowa, 2010.

NANDA, A.; HANS, E. C. Tibial plateau leveling osteotomy for cranial cruciate ligament rupture in canines: patient selection and reported outcomes. **Veterinary Medicine: Research and Reports**, p. 249-255, 2019.

NIEBAUER, G.W. et al. Antibodies to canine collagen types I and II in dogs with spontaneous cruciate ligament rupture and osteoarthritis. **Arthritis Rheum.** 1987 Mar;30(3):319-27. doi: 10.1002/art.1780300311. PMID: 3566823.

OBER, C. A. et al. Influence of tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement on passive laxity of the cranial cruciate deficient stifle in dogs. **Veterinary surgery**, v. 48, n. 3, p. 401-407, 2019.

OBER, C. et al. The Effect of Increasing Tibial Tuberosity Advancement and Quadriceps Muscle Force on Cranial Translation of the Tibia in the Cranial Cruciate Deficient Stifle Joint in Dogs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, 2022.

PACHECO, L. T. Medidas de translação cranial da tíbia para diagnóstico radiográfico da ruptura do ligamento cruzado cranial em cães. **Dissertação de Mestrado**. Universidade Federal de Lavras, 2019.

PEYCKE, L. E. et al. Center of rotation of angulation- based leveling osteotomy for stifle stabilization in skeletally immature dogs. **Veterinary Surgery**, v. 51, n. 3, p. 528-535, 2022.

RAMIREZ, J. M. et al. Preactivation of the quadriceps muscle could limit cranial tibial translation in a cranial cruciate ligament deficient canine stifle. **Research in veterinary science**, v. 98, p. 115-120, 2015.

RASKE, M. HULSE, D., BEALE, B., SAUNDERS, W. B. et al. Stabilisation of the CORA based leveling osteotomy for treatment of cranial cruciate ligament injury using bone and plate augmented with headless compression screw. **Veterinary Surgery**, 42(6):759-764. 2013.

REIF, U.; HULSE, D. A.; HAUPTMAN, J. G. Effect of tibial plateau leveling on stability of the canine cranial cruciate-deficient stifle joint: an in vitro study. **Veterinary Surgery**, v. 31, n. 2, p. 147-154, 2002.

ROBINSON, D. A. et al. The effect of tibial plateau angle on ground reaction forces 4–17 months after tibial plateau leveling osteotomy in Labrador Retrievers. **Veterinary Surgery**, v. 35, n. 3, p. 294-299, 2006.

ROMANO, L., et al. Análise biomecânica do joelho íntegro e com ruptura do ligamento cruzado cranial quanto ao grau de deslocamento cranial e rigidez articular em cães. **Acta Cirúrgica Brasileira**, v. 21, p. 46-50, 2006.

SARDARI, K. et al. Increased levels of the 14-3-3 η and γ proteins in the synovial fluid of dogs with unilateral cranial cruciate ligament rupture. **Can J Vet Res**. 2011 Oct;75(4):271-7. PMID: 22468024; PMCID: PMC3187633.

SHIMADA, M. 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. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 82, n. 7, p. 908-916, 2020.

SCHLAG, A. N.; PEYCKE, L. E.; HULSE, D. A. Center of rotation of angulation- based leveling osteotomy combined with a coplanar cranial closing wedge osteotomy to manage cranial cruciate ligament insufficiency in dogs with excessive tibial plateau angle. **Veterinary Surgery**, v. 49, n. 6, p. 1125-1131, 2020.

SCHUENEMANN, R.; KACZMAREK, J. Tibial Plateau Leveling Osteotomy in small and large breed dogs: a comparative retrospective study of complications and outcomes. **Tierärztliche Praxis Ausgabe K: Kleintiere/Heimtiere**, v. 51, n. 01, p. 6-14, 2023.

SEO, B. S. et al. Measurement of the tibial plateau angle of normal small-breed dogs and the application of the tibial plateau angle in cranial cruciate ligament rupture. **Journal of advanced veterinary and animal research**, v. 7, n. 2, p. 220, 2020.

SLOCUM, B; SLOCUM, T. D. Tibial plateau leveling osteotomy for repair of cranial cruciate ligament rupture in the canine. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 23, n. 4, p. 777-795, 1993.

SOLANO, M. A. et al. Locking plate and screw fixation after tibial plateau leveling osteotomy reduces postoperative infection rate in dogs over 50 kg. **Veterinary Surgery**, v. 44, n. 1, p. 59-64, 2015.

SPINELLA G, ARCAMONE G, VALENTINE S. Cranial Cruciate Ligament Rupture in Dogs: Review on Biomechanics, Etiopathogenetic Factors and Rehabilitation. **Veterinary sciences**, [S. l.], v. 8 (9), p. 186. 2021. DOI: 10.3390/vetsci8090186. PMID: 34564580

TINGA, S. et al. Stifle kinematics in 4 dogs with cranial cruciate ligament insufficiency treated by CORA-based leveling osteotomy. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, p. 1052327, 2022.

TIKAR, A. et al. Retrospective comparison of outcomes following tibial plateau levelling osteotomy and lateral fabello-tibial suture stabilisation of cranial cruciate ligament disease in small dogs with high tibial plateau angles. **New Zealand Veterinary Journal**, v. 70, n. 4, p. 218-227, 2022.

TUDURY, E. A.; QUEIROZ, R. A. Osteotomia de nivelamento do platô tibial na ruptura de ligamento cruzado cranial em cães: revisão. **Clín. Vet.**(São Paulo, Ed. Port.), p. 30-56, 2018.

VASQUEZ, B., et al. Second- look arthroscopic findings after CORA- based leveling osteotomy. **Veterinary Surgery**, v. 47, n. 2, p. 261-266, 2018.

WARZEE, Christine C. et al. Effect of tibial plateau leveling on cranial and caudal tibial thrusts in canine cranial cruciate-deficient stifles: an in vitro experimental study. **Veterinary Surgery**, v. 30, n. 3, p. 278-286, 2001.

WILKE, V.L.; ROBINSON, D.A.; EVANS, R.B. et al. Estimate of the annual economic impact of treatment of cranial cruciate ligament injury in dogs in the United States. **J Am Vet Med Assoc**, 227, p. 1604–1607, 2005.

WHITNEY, M. E. et al. Ex vivo biomechanical comparison of four Center of Rotation Angulation Based Leveling Osteotomy fixation methods. **Veterinary Surgery**, v. 51, n. 1, p. 157-162, 2022. www.veterinary-practice.com . Acesso em 04/06/2024.

ZĂVOI, A; OBER, C; OANA, L. I. Assessment of lameness score and muscle atrophy after extracapsular stabilization of cranial cruciate ligament rupture in toy breeds. **Scientific Works. Series C, Veterinary Medicine**, v. 68, n. 1, 2022.

CAPÍTULO 2 – ARTIGO

AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DAS TÉCNICAS DE TPLO E CBLO PARA RUPTURA DO LIGAMENTO CRUZADO CRANIAL EM CÃES – ESTUDO EX VIVO

**Artigo redigido conforme a NBR 6022 (ABNT, 2018) e formatado de acordo com o
Manual da UFLA de apresentação de teses e dissertações.**

RESUMO

A doença do ligamento cruzado cranial (LCCr) é uma das injúrias mais comuns do joelho canino, sendo que a intervenção cirúrgica para estabilização articular é o tratamento mais recomendado, objetivando eliminar a translação cranial da tíbia. A técnica de osteotomia tibial mais utilizada é a osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO). Foram desenvolvidas técnicas mais recentes de osteotomia, tal como a osteotomia de nivelamento baseado no CORA (CBLO). As propriedades mecânicas das novas técnicas de estabilização precisam ser avaliadas usando modelos ex-vivo de articulações de joelhos. Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar e comparar, por meio de ensaios biomecânicos, a estabilidade articular e a resistência obtida em joelhos caninos ex-vivo com secção experimental do LCCr e estabilizados pelas técnicas de TPLO e CBLO. Foram incluídos 24 membros pélvicos provenientes de 12 cães de raças, idades e sexo diversos, com peso corporal acima de 21 kg. Após desarticulação coxofemoral e tibiotársica e posterior avaliação radiográfica, os membros foram montados à máquina universal de ensaio mecânico, fixados em plataformas móveis e ligados ao fêmur e à tíbia, com articulação do joelho íntegra angulada em 135°, sendo aplicada carga compressiva vertical de 50% do peso corporal. O LCCr foi então rompido por miniartrotomia craniomedial e foi realizada nova aplicação de carga compressiva vertical. Nos pares de articulações dos joelhos, um lado foi estabilizado pela técnica de TPLO, com ângulo do platô tibial (APT) pós-operatório de aproximadamente 5°, e o lado contralateral pela técnica de CBLO, com APT pós-operatório de aproximadamente 10°. Os membros foram remontados à máquina de ensaio universal, com nova aplicação de força compressiva vertical. A estabilidade articular foi avaliada pelo deslocamento horizontal, que representa o impulso tibial cranial. Por fim, os membros foram posicionados com angulação do joelho em 135°, com fixação do fêmur e da tíbia em plataformas fixas, e foram submetidos ao ensaio de compressão axial destrutivo com aplicação de carga crescente. Foi observado o deslocamento vertical, a carga máxima suportada pelos corpos de prova e características de falha do sistema. Os resultados obtidos não apontaram diferença significativa entre a TPLO e CBLO em relação ao deslocamento horizontal (impulso tibial cranial), à movimentação vertical e força máxima suportada. Em nenhuma das duas técnicas, os dados se aproximaram aos dados do joelho intacto. Conclui-se que não houve diferença em relação à estabilidade articular e resistência na comparação biomecânica das técnicas de TPLO e CBLO, tornando a CBLO uma opção a ser considerada no tratamento da doença do LCCr em cães.

Palavras-chave: Ensaio biomecânico; articulação do joelho; osteotomias tibiais; cão

ABSTRACT

Cranial cruciate ligament (CCL) disease represents one of the most frequent causes of lameness and stifle joint instability in dogs. Surgical intervention aimed at restoring joint stability and eliminating cranial tibial translation remains the treatment of choice. Among tibial osteotomy techniques, the tibial plateau levelling osteotomy (TPLO) is the most widely performed. More recently, alternative techniques such as the CORA-based levelling osteotomy (CBLO) have been developed. The mechanical properties of these newer stabilization methods require assessment using *ex vivo* canine stifle joint models. The objective of this study was to biomechanically evaluate and compare joint stability and resistance in *ex vivo* canine stifles with experimentally transected CCL stabilized using TPLO and CBLO techniques. A total of 24 pelvic limbs from 12 dogs of varying breeds, sexes, and ages, all weighing over 21 kg, were included. Following disarticulation at the hip and tibiotarsal joints and subsequent radiographic evaluation, the limbs were mounted on a biomechanical testing machine, with the femur and tibia secured to mobile platforms and the stifle joint positioned at a 135° angle. A compressive vertical load corresponding to 50% of body weight was applied. The CCL was then transected via craniomedial mini-arthrotomy, followed by reapplication of the same load. The stifles were stabilized using either TPLO technique, with a target postoperative tibial plateau angle (TPA) of 5°, or CBLO technique, with a target postoperative TPA of 10°. The limbs were remounted on the biomechanical testing machine, with a reapplication of compressive vertical load. Joint stability was assessed by horizontal displacement, which represents the cranial tibial thrust. Finally, with the stifle joint maintained at 135° and both the femur and tibia connected on fixed platforms, the limbs underwent destructive axial compression test with increasing load, observing the vertical displacement and the maximum load supported by the test specimens, as well as the failure characteristics of the structure. The results showed no significant difference between TPLO and CBLO techniques in terms of horizontal displacement (tibial thrust), vertical displacement, or maximum load to failure. However, neither technique restored biomechanics equivalent to those of the intact stifle. In conclusion, no differences in joint stability or resistance were found between TPLO and CBLO techniques in biomechanical testing. These findings support CBLO as a viable surgical option for the treatment of CCL disease in dogs.

Keywords: Biomechanical testing; stifle joint; tibial osteotomies; canine

1 INTRODUÇÃO

A estabilização passiva da articulação do joelho dos cães é realizada, principalmente, pelo ligamento cruzado cranial (LCCr) que, ao perder sua função, acarreta importante instabilidade articular devido à translação cranial da tíbia em relação fêmur, com consequente desenvolvimento de osteoartrite (REIF; HULSE; HAUPTMAN, 2002; NANDA; HANS, 2019). A doença do LCCr é uma das injúrias mais comuns do joelho de cães, sendo esta afecção diagnosticada em 2,55% da população canina (WITSBERGER *et al.*, 2008). A intervenção cirúrgica para estabilização articular do joelho é o tratamento mais recomendado, objetivando neutralizar a força de impulso cranial da tíbia principalmente na fase de apoio da deambulação, tendo destaque as técnicas de osteotomias da tíbia (APELT *et al.*, 2010; WARZEE *et al.*, 2001).

A técnica de osteotomia tibial mais utilizada é a osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO), criada por Slocum e Slocum (1993), visa alterar o ângulo do platô tibial (APT) para aproximadamente 5° (ENGDAHL *et al.*, 2021). Foram desenvolvidas técnicas mais recentes de osteotomia, tal como a osteotomia de nivelamento baseado no CORA (CBLO), criada por Raske *et al.*, (2013), visa alterar o APT tibial entre 8° e 14° (CASTANEDA; BRUECKER, 2014; KAISER; BRUECKER, 2017). Mas acredita-se que o APT adequado no pós-operatório seja de aproximadamente 10° (ARICAN *et al.*, 2024).

Modelos de compressão de membros são frequentemente utilizados para explorar a estabilidade articular após procedimentos de osteotomia para estabilização do membro pélvico com deficiência do LCCr, como CWTO (APELT *et al.*, 2010), TPLO (CAQUIAS, 2013), TTA (OBER *et al.*, 2022) e CBLO (MAZDARANI *et al.*, 2022). Esses modelos simulam as forças musculares durante a fase de apoio, aplicando uma carga axial ao membro.

A TPLO foi e ainda é amplamente estudada, já possuindo resultados bem robustos em relação à sua efetividade e possíveis falhas. A CBLO ainda carece de avaliação biomecânica e clínica a longo prazo, para determinação mais precisa de sua efetividade, porém já se identificam algumas vantagens em relação à TPLO tradicional, principalmente por possuir maior estoque ósseo proximalmente, diminuindo o risco de afetar a cartilagem articular pela maior distância, não interferindo na placa epifisária em animais jovens e não causa translação pós-cirúrgica secundária (CHOATE *et al.*, 2013; KISHI; HULSE, 2016; TINGA *et al.*, 2022).

As propriedades mecânicas das novas técnicas de estabilização articular precisam ser avaliadas usando modelos *ex-vivo* de articulações de joelhos caninos. O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar, por meio de ensaios biomecânicos, a estabilidade articular e a

resistência mecânica obtida em joelhos caninos ex-vivo após secção experimental do LCCr e estabilizados pelas técnicas de TPLO e CBLO.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Este trabalho de pesquisa foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA/UFLA), protocolo nº 006/23 (ANEXO 1). As atividades experimentais do projeto foram desenvolvidas no Hospital Veterinário do Departamento de Medicina Veterinária e no Laboratório de Vibrações Mecânicas do Departamento de Engenharia da UFLA. Os cadáveres dos cães foram provenientes do setor de Patologia Veterinária da UFLA.

2.1 Critérios de inclusão e exclusão

Foram incluídos neste trabalho 12 cadáveres de cães (24 membros pélvicos) de diferentes raças, idades e sexo, com peso corporal acima de 21 kg, adultos, sem alterações osteoarticulares ou que foram tratados cirurgicamente nos membros pélvicos. Os cães vieram a óbito por motivos não relacionados a este estudo.

Inicialmente, radiografias convencionais foram obtidas em sistema digital, de cada articulação do joelho para assegurar a maturidade esquelética e a ausência de alterações osteoarticulares. As imagens radiográficas obtidas dos cães incluídos no estudo ainda serviram para aferição do ângulo do platô tibial (APT) (Figura 1 – A) e da distância dos pontos de origem e inserção do LCCr (DPOI), de acordo com Pacheco *et al.* (2019) (Figura 1-B).

Figura 1 – Imagem radiográfica da articulação do joelho em projeção mediolateral. A – Aferição do ângulo do platô tibial (APT). B – Distância dos pontos de origem e inserção do LCCr (DPOI).



Fonte: do autor

Os membros pélvicos foram coletados por desarticulação coxofemoral e tibiotársica, e as peças foram armazenadas congeladas em temperatura de -20°C . Duas amostras que apresentaram alterações osteoarticulares identificadas ao exame radiográfico foram excluídas. Na fase de estudo piloto, foram utilizados 12 cães (24 articulações) para treinamento das técnicas cirúrgicas e adequação do sistema de ensaio mecânico.

2.2. Grupos e Tratamentos

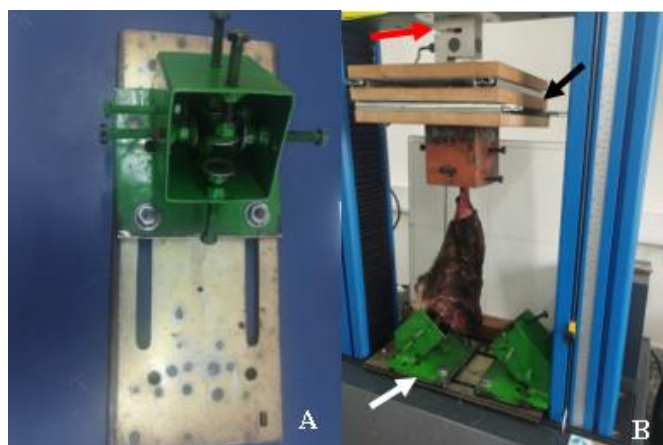
Em cada amostra do membro pélvico, após as devidas medições na articulação intacta do joelho, o LCCr foi rompido por miniartrotomia craniomedial. Nos pares de membros pélvicos, as articulações do joelho foram estabilizadas pela técnica de TPLO ou CBLO. Desta forma, os pares de membros pélvicos foram selecionados aleatoriamente entre duas possibilidades para realização das técnicas cirúrgicas e análise comparativa: TPLO x CBLO (12 pares de joelhos). Assim, foram formados dois grupos experimentais para avaliação comparativa: Grupo 1: TPLO (n = 12 joelhos) e Grupo 2: CBLO (n = 12 joelhos). Os membros pélvicos foram submetidos à avaliação biomecânica em diferentes situações e foram estabelecidos 4 tratamentos distintos: avaliação com LCCr intacto (tratamento: Intacto), avaliação com LCCr rompido (tratamento: Rompido), avaliação da articulação com TPLO (tratamento: TPLO) e avaliação da articulação com CBLO (tratamento: CBLO).

2.3. Coleta de dados

Após o descongelamento das amostras, em temperatura ambiente por 24 horas, os membros pélvicos foram preparados para o ensaio biomecânico. O fêmur foi serrado em seu terço proximal, logo abaixo do trocânter maior. Foram preservados os tecidos moles periarticulares e estruturas intra-articulares do joelho, incluindo cápsula articular, ligamento patelar, ligamentos colaterais, meniscos e ligamentos cruzados; e então as amostras foram levadas para ensaio biomecânico.

Os membros foram montados à máquina de ensaio universal INSTRON EMIC 23-20, ligados ao fêmur e à tíbia com articulação do joelho angulada em torno de 135° aferida por meio de um goniômetro digital. O fêmur foi fixado na parte inferior da estrutura em uma plataforma confeccionada sob medida para o experimento que permitiu o ajuste anterior e posterior do osso para posicionar o membro na angulação do joelho aproximada em 135° (Figura 2-A). A tíbia foi fixada na parte superior da estrutura em uma plataforma móvel que permitiu o livre deslocamento da tíbia ao ser submetida à carga compressiva (Figura 2-B).

Figura 2 – Aparatos da máquina universal de ensaios mecânicos. A – Plataforma ajustável da parte inferior da estrutura para fixação do fêmur. B – Estrutura da máquina com membro pélvico posicionado para ensaio mecânico. Plataforma móvel da parte superior para fixação da tíbia (seta preta) e plataforma ajustável da parte inferior para fixação do fêmur (seta branca). Célula de carga (seta vermelha).



Fonte: do autor

A articulação do joelho foi mantida angulada em torno de 135° (Figura 3) por representar a angulação encontrada na fase média da fase de apoio da deambulação no cão, onde a carga de apoio é máxima (HOTTINGER *et al.*, 1996).

Figura 3 – Amostra de membro pélvico montado na máquina universal. Nota-se a aferição do ângulo da articulação do joelho em 135°, realizada por meio de goniômetro digital, antes do início do ensaio.



Fonte: do autor

Um aparelho radiográfico móvel foi posicionado em frente ao membro fixado à máquina de ensaios mecânicos, e o cassete radiográfico foi posicionado logo atrás do membro (Figura 4-A). Um biombo móvel com revestimento de chumbo foi posicionado anteriormente ao aparelho radiográfico para proteção radiológica (Figura 4-B).

Com o membro montado na máquina de ensaio universal e a articulação do joelho íntegra, foi realizada radiografia convencional da articulação angulada em torno de 135° para verificação do correto posicionamento. Na avaliação radiográfica, a angulação das articulações dos joelhos foi medida pelo cruzando dos eixos anatômicos dos ossos da tíbia e do fêmur. Em seguida foi aplicada uma carga vertical de 50% do peso corporal (Ramirez *et al.*, 2015), e nova radiografia foi realizada para medida da DPOI (tratamento: ligamento intacto).

A aplicação da carga vertical foi retirada e, em seguida, foi realizada uma miniartrotomia craniomedial para ruptura do LCCr pela técnica de Pond-Nuki, com uso de bisturi com lâmina nº11 (VISCO, *et al.*, 1996). Com a articulação do joelho mantida em angulação aproximada de 135°, foi novamente aplicada carga vertical de 50% do peso corporal para nova mensuração do DPOI (tratamento: ligamento rompido).

Figura 4 – Posicionamento do aparelho radiográfico e biombo no ensaio mecânico. A – Aparelho radiográfico (seta) colocado sobre bancada e posicionado em frente ao membro fixo à máquina. Cassete radiográfico posicionado logo atrás do membro (*). B – Biombo posicionado para proteção radiológica (*).



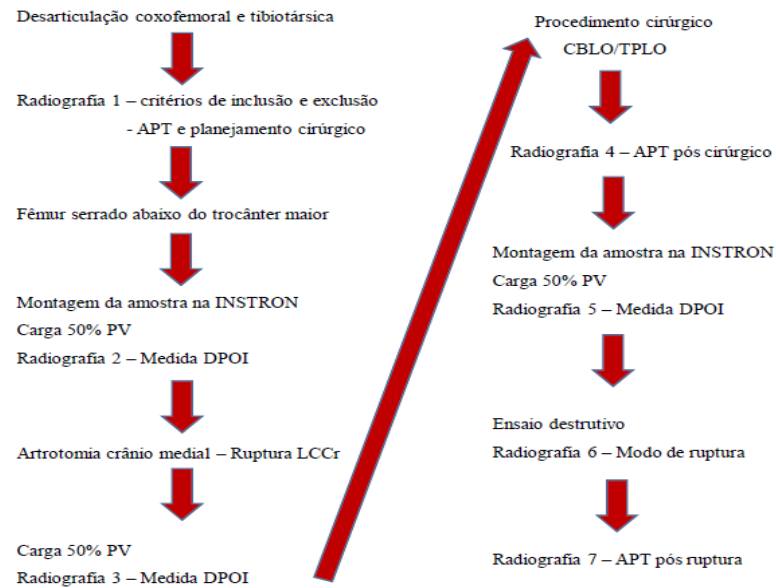
Fonte: do autor

As amostras ósseas foram retiradas da máquina de ensaio e as articulações do joelho foram então estabilizadas com procedimentos cirúrgicos. Em cada par de membros pélvicos, um lado foi aleatoriamente selecionado e a articulação do joelho foi submetida à técnica de TPLO, enquanto a articulação contralateral foi submetida à técnica de CBLO. Foram realizadas radiografias convencionais das amostras para verificação do APT pós-cirúrgico. Os membros foram então novamente posicionados na máquina de ensaio universal em angulação aproximada de 135°, e foram realizadas radiografias simples das articulações para verificar o correto posicionamento das amostras. Em seguida, foi aplicada novamente uma carga vertical de 50% do peso corporal, e foi realizada nova radiografia para última aferição do DPOI (tratamentos: TPLO e CBLO).

Por fim, na mesma angulação articular do joelho em torno de 135°, o aparato de fixação superior da tibia trocado por uma plataforma fixa, as amostras ósseas com os procedimentos cirúrgicos já realizados foram submetidas ao ensaio de compressão axial destrutivo com aplicação de carga crescente, sendo observada a carga máxima suportada pelos corpos de prova e o deslocamento total do sistema, dados fornecidos pelo software Blue Hill®. Além disso, os membros foram radiografados para se verificar as características de falha das amostras e para aferição do APT após o ensaio destrutivo.

A sequência dos testes e exames realizados em cada membro foi especificada no ANEXO II. Este documento serviu de referência, principalmente na sequência das radiografias e testes biomecânicos que foram realizadas. A figura 5 demonstra em forma de fluxograma a sequência do estudo experimental realizado:

Figura 5 – Fluxograma do estudo experimental



Fonte: do autor

2.4 Procedimentos cirúrgicos

2.4.1 Osteotomia de nivelamento do platô tibial (TPLO)

Na técnica TPLO foi realizada osteotomia radial na tíbia e a rotação do segmento ósseo proximal para atingir o APT pós-operatório aproximado de 5°. No planejamento pré-cirúrgico (Figura 6), com a imagem radiográfica na projeção mediolateral, utilizando um programa computadorizado para mensuração radiográfica (VPoP® Versão3.3.3), foi calculado inicialmente o APT. Em seguida, foi identificada a eminência intercondilar e a interseção das retas do platô tibial e do eixo mecânico da tíbia, onde foi posicionado o centro da lâmina de osteotomia. Após verificação do diâmetro da lâmina da serra, as medidas das distâncias D1, D2 e D3 foram realizadas para adequado posicionamento da lâmina sobre o osso tibial no momento da osteotomia. Também foi verificada a escolha do tamanho da placa de TPLO e a medida da distância de rotação do platô tibial.

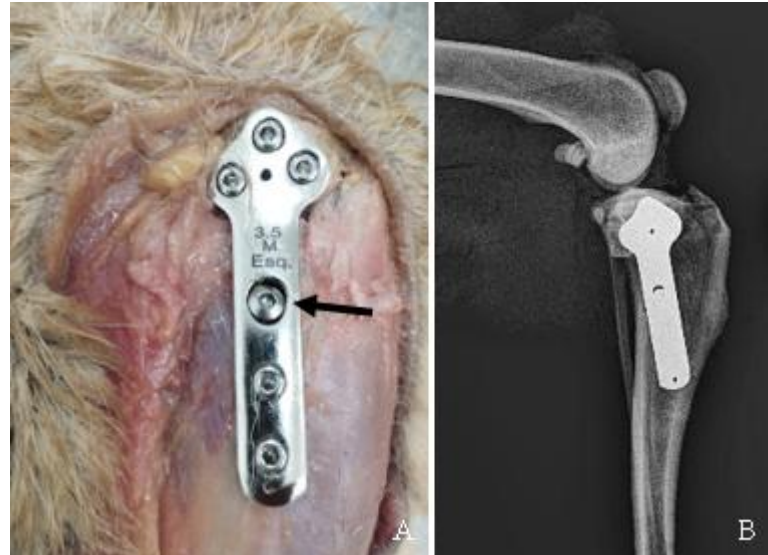
Figura 6 – Imagem radiográfica para o planejamento de TPLO. Na imagem a articulação do joelho em projeção mediolateral em planejamento pré-operatório da técnica de TPLO por meio do software VPoP®. A imagem evidencia a definição do tamanho e posicionamento da serra óssea (destacado pelo círculo vermelho), bem como as distâncias D1, D2 e D3, além do tamanho e posicionamento da placa de TPLO.



Fonte: do autor

No procedimento cirúrgico, foi realizada incisão longitudinal na superfície medial da parte proximal da tibia, seguida pela divulsão dos tecidos moles medialmente e identificação do ligamento colateral medial. Foram marcados os locais das distâncias D1, D2 e D3 na tibia para correto posicionamento da lâmina da serra. Com uso da lâmina com tamanho de raio de 21 ou 24mm, foi realizada osteotomia parcial na tibia proximal, em cerca de 1/3 da profundidade do corte ósseo. Fez-se a marcação da medida de rotação do platô tibial no local da osteotomia, sendo então finalizada a osteotomia. O fragmento ósseo proximal foi rotacionado caudalmente na distância previamente calculada para atingir o APT de 5°, auxiliado por um pino de rotação de 2,0mm inserido em sentido craniocaudal oblíquo. Com o segmento ósseo proximal já na posição correta, foi inserido um pino de 1,5mm craniodorsalmente a partir da tuberosidade da tibia até a porção caudal do segmento ósseo proximal, possibilitando a estabilização temporária dos segmentos ósseos. Finalmente, os segmentos ósseos tibiais foram fixados em posição adequada com uso da placa de TPLO LCP 3,5mm tamanho médio (CãoMédica Ltda) e cinco parafusos bloqueados 3,5mm (Cão Médica Ltda) e um parafuso cortical 3,5mm para compressão (Figura 7). Fáscias musculares, tecido subcutâneo e pele foram suturados em diferentes planos de forma convencional. Foi realizado exame radiográfico para aferição do APT pós-cirúrgico.

Figura 7 – Imagens do membro pélvico submetido à técnica de TPLO. A – Fotografia do procedimento cirúrgico. Após realização da osteotomia e rotação do platô tibial, os segmentos ósseos foram fixados com placa de TPLO LCP 3,5mm, com 5 parafusos bloqueados e 1 parafuso cortical compressivo (seta). B – Radiografia do pós-operatório imediato.

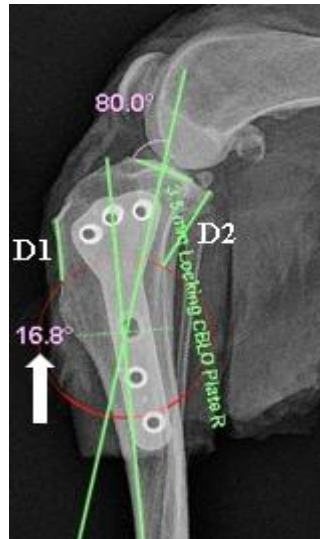


Fonte: do autor

2.4.2 Osteotomia de nivelamento baseado no CORA (CBLO)

No planejamento pré-cirúrgico da técnica de CBLO (Figura 8), com a imagem radiográfica na projeção mediolateral, utilizou-se o mesmo programa computadorizado para mensuração radiográfica, sendo calculado inicialmente o APT. Em seguida foi determinado o CORA (centro de rotação da angulação), na interseção das linhas dos eixos anatômicos proximal e distal da tíbia. O eixo anatômico proximal foi obtido como uma linha que passa pelos tubérculos intercondilares tendo um ângulo posterior de 80° do plano do platô tibial, objetivando obter o APT pós-cirúrgico de 10° . O eixo anatômico distal foi obtido pela passagem de uma reta no ponto média na altura de 95% distalmente e 25% proximalmente do comprimento da tíbia. No ponto CORA foi posicionado o centro da lâmina de osteotomia. Após verificação do diâmetro da lâmina da serra óssea, as medidas das distâncias D1 e D2 foram realizadas para adequado posicionamento da lâmina sobre o osso tibial no momento da osteotomia. Também foi verificada a escolha do tamanho da placa de CBLO e a medida da distância de rotação do platô tibial.

Figura 8 – Imagem radiográfica para o planejamento de CBLO. A imagem mostra a articulação do joelho em projeção mediolateral demonstrando o planejamento pré-operatório para técnica de CBLO pelo programa VPoP®. Após definição dos eixos anatômicos da tíbia e do ponto CORA, foi verificado tamanho e posicionamento da serra óssea (círculo vermelho), das distâncias D1 e D2, e do tamanho e posicionamento da placa de CBLO e do ângulo do CORA (seta).

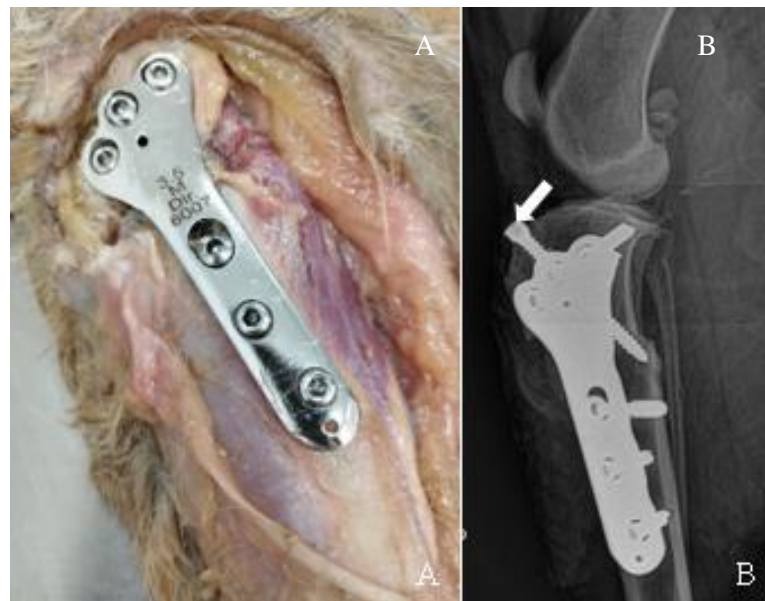


Fonte: do autor

No procedimento cirúrgico, foi realizada incisão longitudinal na superfície medial da parte proximal da tíbia, seguida pela divulsão dos tecidos moles. Foram marcados os locais das distâncias D1 e D2 na tíbia para correto posicionamento da lâmina da serra. Com uso da lâmina com tamanho de raio de 21 ou 24mm, foi realizada osteotomia parcial na tíbia proximal, em cerca de 1/3 da profundidade do corte ósseo. Fez-se a marcação da medida de rotação do platô tibial no local da osteotomia, sendo então finalizada a osteotomia. O fragmento ósseo proximal foi rotacionado cranialmente na distância previamente calculada para atingir o APT de 10°, auxiliado por um pino de rotação de 2,0mm inserido em sentido craniocaudal oblíquo. Com o segmento ósseo proximal já na posição correta, foi inserido um pino de estabilização temporária de 1,5mm a partir da porção proximal da tuberosidade tibial, na altura da inserção do ligamento patelar, em sentido cranioproximal para caudodistal, atravessando a linha de osteotomia e emergindo no córtex caudal da tíbia. Os segmentos ósseos tibiais foram fixados em posição adequada com uso da placa de CBLO LCP 3,5mm tamanho médio (CãoMédica Ltda) e cinco parafusos bloqueados 3,5mm (Cão Médica Ltda) e um parafuso cortical 3,5mm em efeito compressivo. O pino de estabilização temporária foi removido, e no trajeto ósseo feito pelo pino foi inserido um parafuso esponjoso sem cabeça de

4,0 x 30mm para fixação auxiliar (CãoMédica Ltda) (Figura 9). Fâscias musculares, tecido subcutâneo e pele foram suturados em diferentes planos de forma convencional. Foi realizado exame radiográfico para aferição do APT pós-cirúrgico.

Figura 9 – Imagens do membro pélvico submetido à técnica de CBLO. A – Fotografia do procedimento cirúrgico. Após realização da osteotomia e rotação do platô tibial, os segmentos ósseos foram fixados com placa de CBLO LCP 3,5mm, com 5 parafusos bloqueados e 1 parafuso cortical compressivo. B – Imagem radiográfica do pós-operatório imediato. Observar o parafuso de fixação auxiliar (seta).



Fonte: do autor

2.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A avaliação estatística foi baseada na forma descritiva simples, incluindo média, desvio padrão, máximo, mínimo, mediana e coeficiente de variação para todas as variáveis de interesse.

As variáveis que foram avaliadas com base em modelo misto foram o “deslocamento horizontal, na carga de 50% PV”, entre os tratamentos Intacto, Rompido, TPLO e CBLO, o “deslocamento vertical, na carga de 50% PV”, divididos em Intactovertical, Rompidovertical, TPLOvertical e CBLOvertical e o “deslocamento vertical à carga máxima” durante o evento de colapso. No deslocamento vertical, na carga 50% PV, ainda foi adotado uma transformação de 2ª ordem. As variáveis “ângulos da articulação do joelho” quando

posicionado na máquina de ensaio universal, a “carga máxima suportada” e os dados “APTs após a correção cirúrgica” pela TPLO/CBLO foram avaliados em base no modelo linear.

Todos os dados, transformados ou não, foram submetidos aos testes de pressupostos para normalidade, através do teste de Shapiro-Wilk, para independência, através do teste de Durbin-Watson e homogeneidade, pelo teste de Barlett.

Para todas as variáveis foram feitas análise de variância com medidas repetidas para comparação múltipla e teste de Tukey para confirmação e/ou representação gráfica.

Também foi realizado análise de variância para comparação entre o APT da TPLO/CBLO pós cirúrgicos com o “APT após o ensaio destrutivo”. Foi realizado teste Q quadrado para as “características de falha” das mesmas amostras que ocorreram no sistema.

Toda a análise estatística foi realizada com auxílio do programa estatístico R Core Team versão 4.4.1, adotando nível de significância de 5% de probabilidade.

3 RESULTADOS

A média de peso corporal dos cães foi de $27,8 \pm 9,1$ kg, porém o peso mínimo foi de 21kg e o máximo de 53kg. O APT médio foi de $20,6 \pm 2,8^\circ$. Após a correção cirúrgica pela técnica de TPLO, o APT médio alcançado foi de $5,18 \pm 0,70^\circ$, e pela técnica de CBLO foi de $9,95 \pm 0,9^\circ$.

A análise estatística descritiva referente à angulação articular dos joelhos fixados à máquina de ensaios mecânicos sob carga de 50% do peso corporal é mostrada na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados estatísticos referentes à mensuração do ângulo da articulação dos joelhos fixados à máquina de ensaios mecânicos, nos diferentes tratamentos.

Tratamento	Média(graus)	Desvio	Máximo	Mínimo	Mediana	CV (%)
ÂnguloIntacto	137,57	4,16	146,50	130,10	137,35	3,02
ÂnguloRompido	138,34	5,40	147,40	125,20	138,25	3,90
ÂnguloTPLO	141,04	2,94	145,30	135,50	141,85	2,09
ÂnguloCBLO	137,92	4,60	142,80	127,70	139,95	3,33

Fonte: do autor

O resultado da ANOVA demonstrou que não houve diferença estatística entre os tratamentos ($p = 0,183$) em relação à angulação da articulação do joelho. Como mostrado no teste de Tukey (Tabela 2), não houve diferença significativa entre os ângulos dos testes na máquina de ensaios mecânicos. Graficamente representado no Gráfico 1.

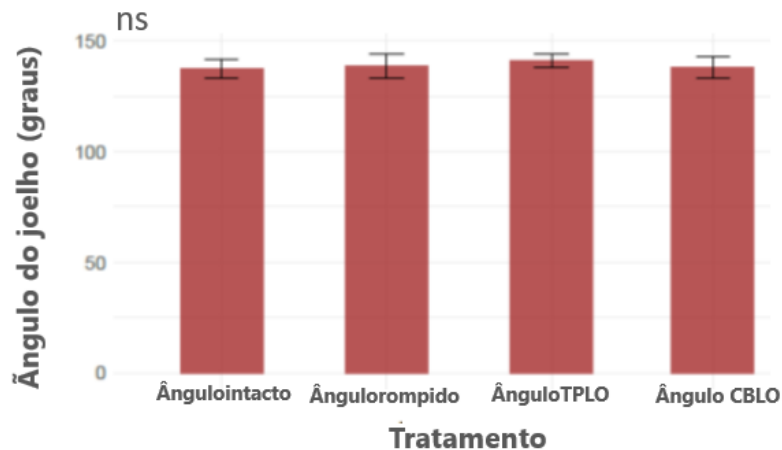
Tabela 2 – Dados estatísticos referentes aos ângulos da articulação dos joelhos fixados à máquina de ensaios mecânicos, na avaliação entre os tratamentos.

Tratamentos (medidas dos ângulos)	P valor
CBLO – Intacto	0,99
CBLO – Rompido	0,99
CBLO – TPLO	0,34
Intacto – Rompido	0,93
Intacto – TPLO	0,14
Rompido – TPLO	0,34

Fonte: do autor

Nota: Teste de Tukey com nível de confiança de 0,95.

Gráfico 1 – Média (em graus) dos ângulos das articulações do joelho fixados à máquina de ensaios mecânicos, observada nos diferentes tratamentos.



Fonte: do autor

Nota: ns - não significativo entre os tratamentos ao teste de Tukey.

Os dados do deslocamento horizontal, que representa o impulso tibial cranial, foram obtidos pela mensuração da distância DPOI. A análise descritiva dos dados está demonstrada na Tabela 3. O resultado da análise comparativa entre os tratamentos pela ANOVA resultou no valor de $p < 0,005$. Os valores obtidos no teste de Tukey estão apresentados na Tabela 4.

Tabela 3 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento horizontal (impulso tibial cranial) observados nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico, nos diferentes tratamentos.

Tratamentos (deslocamento horizontal)	Média(mm)	Desvio	Máximo	Mínimo	Mediana	CV
Intacto	23,47	3,59	30,60	19	22,80	15,32
Rompido	31,14	4,62	39,30	24	30,25	14,85
TPLO	27,84	4,46	37,50	22,20	27,40	16,03
CBLO	26,96	4,82	36	21,30	25,20	17,90

Fonte: do autor

Tabela 4 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento horizontal (impulso tibial cranial) observados nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico, na avaliação entre os tratamentos.

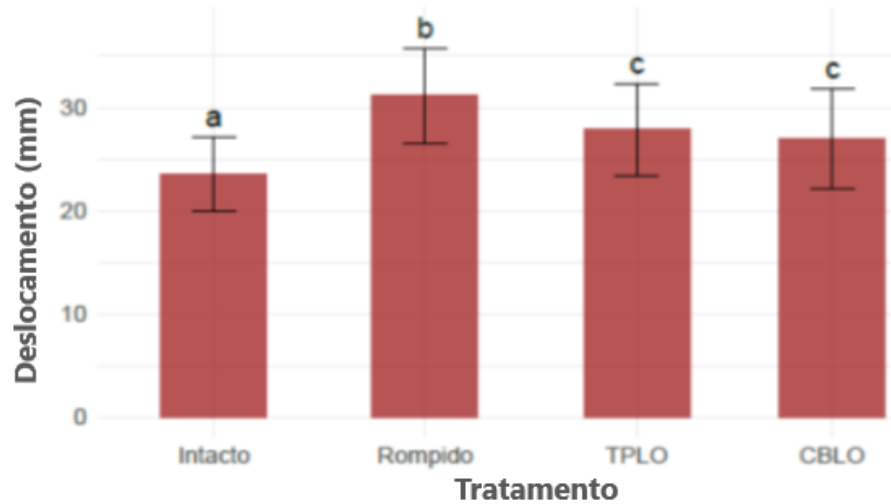
Tratamentos (deslocamento horizontal)	P valor
Intacto - Rompido	<.0005
Intacto - TPLO	<.0005
Intacto - CBLO	<.0005
Rompido - TPLO	<.0005
Rompido - CBLO	<.0005
TPLO - CBLO	0.35

Fonte: do autor

Nota: Teste de Tukey com nível de confiança de 0,95.

O resultado da ANOVA demonstrou que houve diferença estatística entre os tratamentos. Como mostrado na Tabela 4, a medida do deslocamento horizontal (medida da DPOI) foi estatisticamente significativa entre o ligamento intacto e rompido ($p < .0005$). Os dados obtidos com as técnicas de TPLO e CBLO demonstraram diferença significativa em relação ao ligamento intacto, porém também foram significativamente diferentes em relação ao ligamento rompido ($p < .0005$). No entanto, os dados da técnica de TPLO em relação à CBLO, não apresentaram diferença significativa ($p = 0,3547$). Graficamente os dados do deslocamento horizontal são demonstrados por colunas e comparados por letras no Gráfico 2. O Gráfico 3 ilustra a variação dos valores referentes ao deslocamento horizontal, que representa o impulso tibial cranial.

Gráfico 2 – Média (mm) do deslocamento horizontal, obtida pela medida pela DPOI, observada nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico, nos diferentes tratamentos



Fonte: do autor

Nota: Letras iguais demonstram igualdade estatística entre os tratamentos ao teste de Tukey

Os dados estatísticos do deslocamento vertical observados nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico foram fornecidos pelo programa computacional Blue Hill (Tabela 5). O resultado da análise comparativa entre os tratamentos pela ANOVA foi $p < 0,05$. Os valores obtidos no teste de Tukey estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 5 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento vertical observados nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico, nos diferentes tratamentos.

Tratamento (deslocamento vertical)	Média(mm)	Desvio	Máximo	Mínimo	Mediana	CV (%)
Intactovertical	2,99	1,01	5,34	1,72	2,57	33,92
Rompidovertical	6,31	2,04	10,53	3,31	6,21	32,41
TPLOvertical	4,75	2,04	8,53	2,37	4,06	42,97
CBLOvertical	4,44	1,84	8,47	2,32	4,15	41,52

Fonte: do autor

Tabela 6 – Dados estatísticos referentes às medidas do deslocamento vertical observados nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico, na avaliação entre os tratamentos.

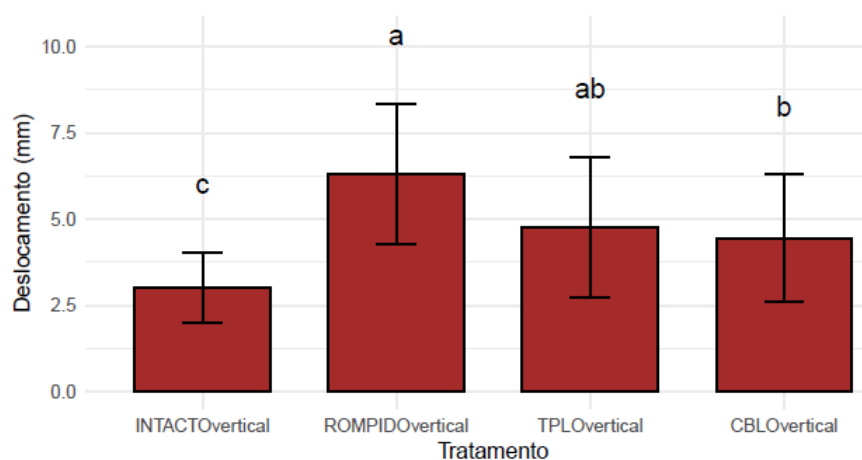
Tratamentos (deslocamento vertical)	P valor
Intacto - Rompido	<.0005
Intacto - TPLO	0.0116
Intacto – CBLO	0.0464
Rompido - TPLO	0.0596
Rompido- CBLO	0.0155
TPLO – CBLO	0.9697

Fonte: do autor

Nota: Teste de Tukey com nível de confiança de 0,95.

O resultado da ANOVA demonstrou que houve diferença estatística entre os tratamentos. Na Tabela 6, os resultados obtidos no teste de Tukey apontam que não ocorreu diferença significativa entre as técnicas de TPLO e CBLO em relação ao deslocamento vertical ($p = 0.9697$). O deslocamento vertical apresentou diferença estatisticamente significativa entre os membros pélvicos com ligamento intacto e ligamento rompido ($p < 0,05$) e entre o ligamento intacto e as técnicas de TPLO ($p = 0.0116$) e CBLO ($p = 0.0464$). No entanto, os dados obtidos com o ligamento rompido se assemelharam estatisticamente à técnica de TPLO ($p = 0,0596$) e diferiram estatisticamente em relação à técnica de CBLO ($p = 0,155$). Graficamente os dados do deslocamento vertical demonstrados por colunas e comparados por letras no Gráfico 3.

Gráfico 3 – Média (mm) do deslocamento vertical observada nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico, nos diferentes tratamentos



Fonte: do autor

Nota: Letras iguais demonstram igualdade estatística entre os tratamentos ao teste de Tukey.

Em relação à carga máxima suportada pelos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico de compressão axial destrutivo, os dados estatísticos estão demonstrados na Tabela 7. Os valores desta variável foram obtidos por meio do programa computacional Blue Hill. O resultado da análise comparativa entre os dois grupos pelo teste t pareado foi de $p = 0.3014$. Este resultado demonstrou que não houve diferença estatística entre os grupos de TPLO e CBLO.

Tabela 7 – Dados estatísticos referentes à carga máxima suportada nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico destrutivo, nos diferentes grupos.

Grupos	Média(newtons)	Desvio	Máximo	Mínimo	Mediana	CV (%)
Carga Ruptura TPLO	1105,91	505,41	2022,88	456,53	923,31	45,70
Carga ruptura CBLO	942,54	355,24	1599,64	468,21	927,18	37,68

Fonte: do autor

Os dados estatísticos do deslocamento vertical ocorrido na carga máxima suportada pelos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico de compressão axial estão demonstrados na tabela 8. Os valores desta variável foram fornecidos pelo programa computacional Blue Hill. O resultado da análise comparativa entre os grupos pelo teste t pareado foi $p = 0.1245$, demonstrando que não houve diferença estatística entre os grupos da TPLO e CBLO.

Tabela 8 – Dados estatísticos referentes ao deslocamento vertical ocorrido na carga máxima suportada pelos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico de compressão, nos diferentes grupos.

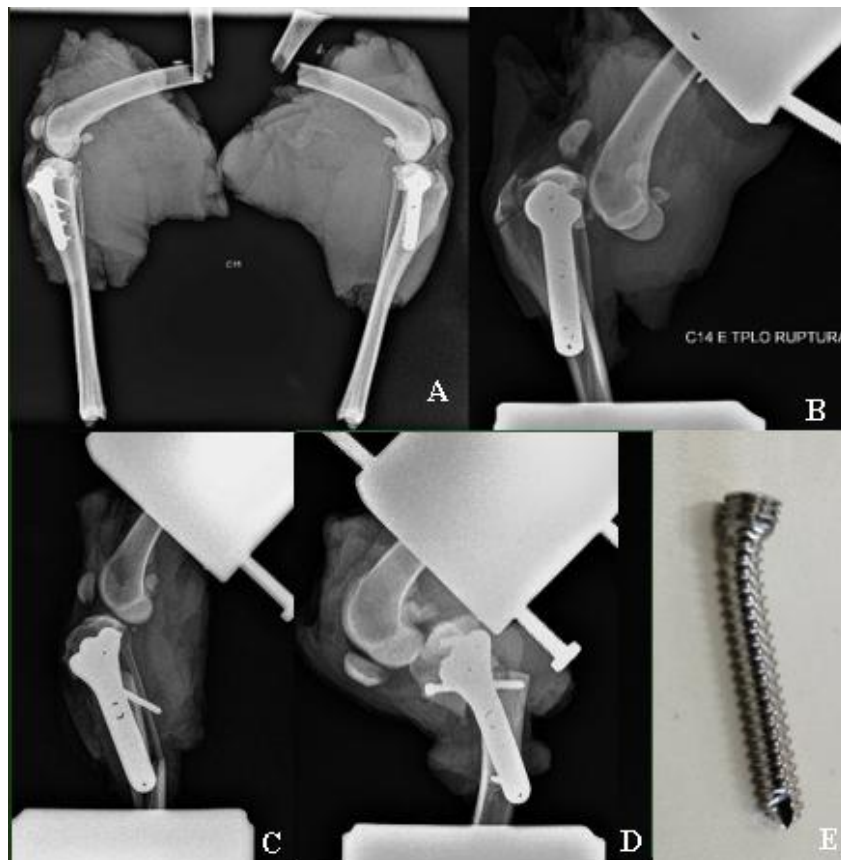
Grupos	Média(mm)	Desvio	Máximo	Mínimo	Mediana	CV(%)
Deslocamentovertical rupturaTPLO	23,26	9,02	46,75	16,84	19,97	38,77
Deslocamentoverticalna rupturaCBLO	19,60	7,20	29,03	8,59	21,76	36,75

Fonte: do autor

O modo de ruptura dos corpos de prova submetidos ao ensaio mecânico compressivo destrutivo foi avaliado neste estudo, sendo mais frequente a fratura do fêmur (Figura 10). Esta situação ocorre quando o sistema detecta uma falha, como uma fratura ou um colapso na articulação, o que desarma a aplicação da carga. Para verificação do modo de ruptura, foram realizadas radiografias em dois momentos, o primeiro quando houve a interrupção automática ao aumento crescente de carga pelo sistema, e outro após a retirada das peças da máquina de

ensaios. Os resultados observados foram soltura/quebra do implante (2/12) na TPLO e (3/12) na CBLO, fratura do fêmur (6/12) na TPLO e (4/12) na CBLO, falência de tecidos moles periarticulares (4/12) para as duas técnicas e fratura da tíbia (1/12) somente na CBLO. Não houve uma diferença significativa entre o modo de ruptura nas duas técnicas ao teste de Q quadrado $p = 0.4615$.

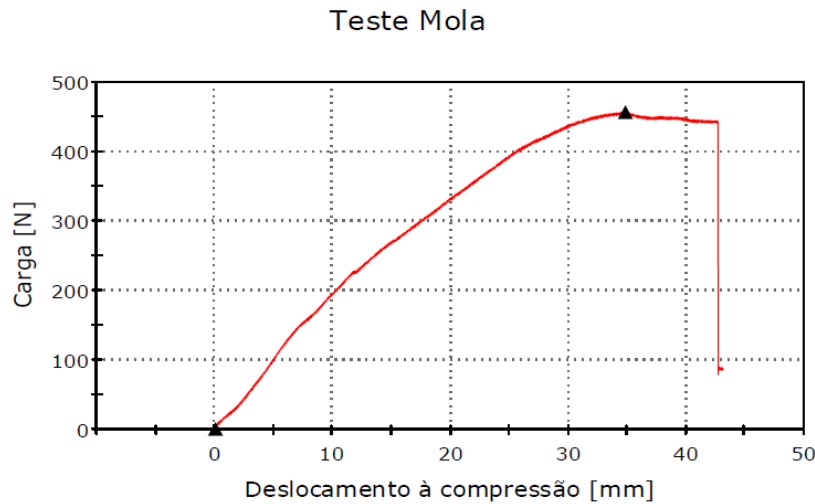
Figura 10 – Imagens após ensaio mecânico destrutivo. A – Imagem radiográfica mediolateral após fratura do fêmur. B – Imagem radiográfica mediolateral após falência dos tecidos moles em TPLO. C – Imagem radiográfica mediolateral após fratura da tíbia em CBLO. D – Imagem radiográfica mediolateral após quebra do implante em CBLO. E – Imagem mostrando o encurvamento do parafuso após ensaio destrutivo.



Fonte: do autor

O programa Blue Hill é mostrado graficamente uma queda brusca da carga ao ocorrer a ruptura do sistema. (Gráfico 4)

Gráfico 4 – Gráfico demonstrando a ruptura pelo programa Blue Hill.



Fonte: do autor

Por fim, os dados estatísticos do APT dos membros pélvicos mensurados após o ensaio mecânico compressivo destrutivo estão demonstrados na tabela 9. O resultado da ANOVA para o APT antes e após o ensaio destrutivo na TPLO ($p = 0.04036$), mostrou que houve diferença significativa. O resultado da ANOVA para o APT antes e depois do ensaio destrutivo na CBLO ($p = 0.889$), mostrou que não houve diferença significativa nesta técnica.

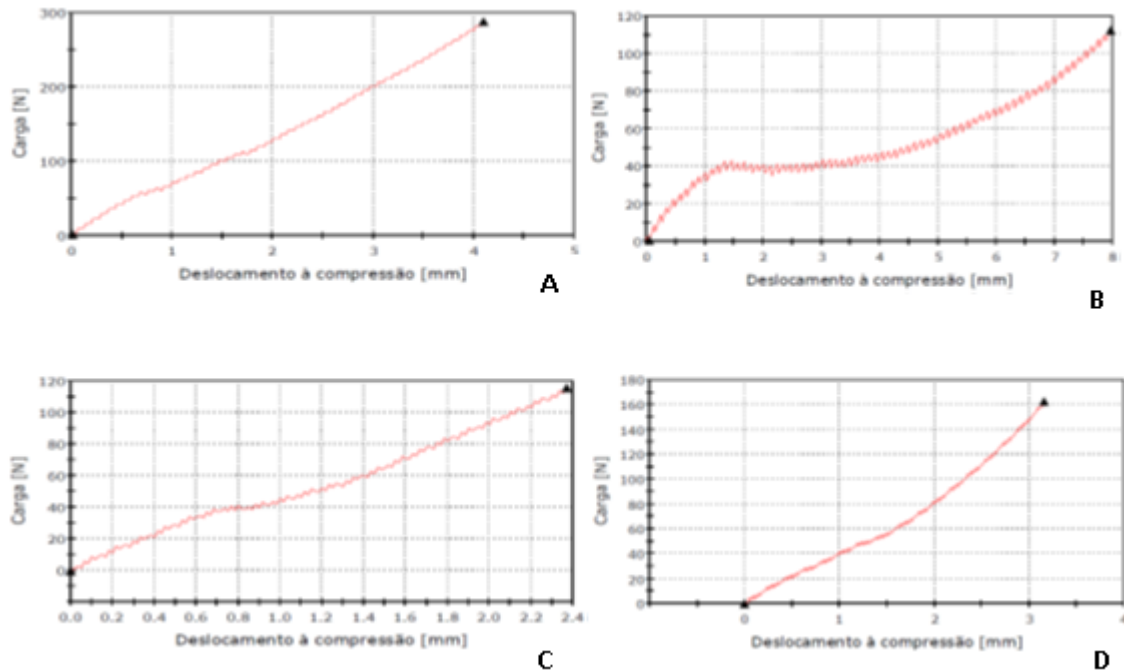
Tabela 9 – Dados estatísticos referentes ao APT após carga máxima no ensaio mecânico destrutivo, nos diferentes grupos.

Grupos	Média(graus)	Desvio	Máximo	Mínimo	Mediana	CV (%)
APT pós ruptura TPLO	5,35	7,65	15	-13,3	7,45	142,77
APT pós ruptura CBLO	9,35	6,77	21	0,2	10,3	72,44

Fonte: do autor

Um padrão gráfico da carga versus deslocamento vertical, fornecido pelo programa Blue Hill, foi observado entre os tratamentos Intacto, Rompido, TPLO e CBLO. Os gráficos com o ligamento intacto eram mais retilíneos (Gráfico 9). Os gráficos com o ligamento rompido tendiam a formar uma hipérbole (Gráficos 10). Já os gráficos formados com as técnicas de osteotomia, tendiam a ficar mais retilíneos, mas nem tanto como os formados pelo ligamento intacto (Gráfico 5).

Gráfico 5 – Representação gráfica de carga. (N) versus deslocamento vertical, observada nos membros pélvicos submetidos ao ensaio mecânico sob carga de 50% do peso corporal. A - Tratamento ligamento Intacto. B – Tratamento ligamento rompido. C – Tratamento TPLO. D – Tratamento CBLO.



Fonte: do autor

4 DISCUSSÃO

Para atender os objetivos deste estudo biomecânico, foi criado um modelo experimental baseado em modelos de “limb press”, porém com várias inovações que foram implementadas ao longo dos testes pilotos. A validade deste modelo de aplicação de carga foi testada pela documentação na alteração significativa da instabilidade cranial do membro ao comparar os ensaios do ligamento intacto em relação ao rompido. Outro dado que atesta a confiabilidade deste modelo, é que foi mantida a mesma angulação da articulação do joelho, sem diferença significativa entre os tratamentos, nos membros pélvicos submetidos aos ensaios mecânicos, demonstrando que as condições dos testes foram equânimes.

Alguns estudos com ângulos articulares fixos simulando a fase média da deambulação no cão *in vitro*, demonstraram aumento significativo na subluxação cranial da tíbia na ruptura do LCCr (WARZEE *et al.*, 2001; APELT *et al.*, 2007; KIM *et al.*, 2009; AULAKH *et al.*, 2013). Ao subtrair os valores da subluxação média entre intacto e rompido no presente estudo,

encontrou-se 7,7mm, similar aos valores encontrados em outros estudos: $8,5 \pm 1,5$ mm (APELT *et al.*, 2010), 6,6mm (HAGEMEISTER *et al.*, 2010), $10,8 \pm 5,5$ mm (KIM *et al.*, 2010) e 7,32mm (OBER *et al.*, 2019).

O que se espera como resultado da correção cirúrgica para nivelamento do platô tibial em joelhos com doença do LCCr, é a eliminação da instabilidade cranial de tibia, na fase de apoio do membro (APELT *et al.*, 2010). Os resultados deste estudo no ensaio de deslocamento horizontal, demonstraram que a correção cirúrgica com as técnicas de TPLO ou CBLO reduziu significativamente a instabilidade cranial da tibia nos membros operados em relação aos membros com o ligamento rompido. Porém, os membros operados com TPLO e CBLO não alcançaram resultados semelhantes aos encontrados nos membros com o ligamento intacto. No atual estudo observou-se que, mesmo após a utilização das técnicas de TPLO e CBLO, ainda ocorreu certo grau de instabilidade articular com deslocamento cranial da tibia ao ensaio mecânico, sendo que, ao subtrair os valores médios, observa-se deslocamento de 4,4 mm no grupo da TPLO e 3,5mm no grupo da CBLO. Alguns estudos também descreveram a presença de instabilidade articular após a cirurgia de TPLO, com relatos de deslocamento cranial médio de $2,0 \pm 2,9$ mm (REIF *et al.*, 2002), 1,98 mm (JOHNSON *et al.*, 2011), $3,2 \pm 1,1$ mm (OBER *et al.*, 2019) e $1,9 \pm 1,7$ mm (KANNO *et al.*, 2019).

Existe uma possibilidade na técnica de TPLO da translação cranial da tibia se tornar uma translação caudal, principalmente quando houver a correção exagerada do platô tibial (KANNO *et al.*, 2019; TINGA *et al.*, 2020; SCHMUTTERER *et al.*, 2022, 2023). Porém, não houve membros com translação caudal da tibia neste atual estudo, o que pode ser explicado pela média do APT após TPLO próximo de 5° e após CBLO próximo de 10° , o que tende a inibir a translação cranial, sem promover a translação caudal (BESTER *et al.*, 2024). Além do APT, outros fatores como diferenças no alinhamento coronal ou axial do membro e diferenças inerentes à geometria condilar, podem influenciar na translação tibial (TINGA *et al.*, 2020).

Em um estudo cinemático in vivo para avaliação da técnica de CBLO, Tinga *et al.* (2022) observaram instabilidade cranial da tibia de 6,9 mm em média, valor bem mais alto do que foi encontrado neste atual estudo, que teve média de $3,5 \pm 1,7$ mm. Esta grande movimentação articular no referido estudo cinemático, pode ser devido ao pequeno número da amostra (4 animais) e uma média de APT pós-cirúrgicos abaixo do recomendado.

Em um estudo utilizando modelo computacional, mantendo a articulação do joelho posicionada em 135° , foi observada instabilidade e subluxação cranial da tibia de 5,6mm com o ligamento rompido, de 4,8mm na técnica de TPLO e de 1,2mm na técnica de CBLO

(PUTAME *et al.*, 2019). No referido estudo, não foi encontrada diferença significativa na subluxação cranial tibial entre as técnicas de TPLO e CBLO. Um estudo computacional com dados muito próximos deste atual estudo *ex vivo*.

Na avaliação do deslocamento vertical, com carga de 50% do peso corporal, até então sem dados para comparação com outros estudos na literatura, pode-se inferir que há uma relação com a estabilidade. Nota-se pelos resultados apresentados que, claramente, ocorreu maior média de deslocamento vertical com o ligamento rompido do que com o ligamento intato, com diferença significativa entre eles, sugerindo que um menor deslocamento possua uma relação de distribuição de cargas mais adequada e melhor estabilidade articular, à mesma angulação do joelho. O fato de não haver diferença significativa nesse dado entre as técnicas de TPLO e CBLO, sugere-se uma equivalência entre as técnicas em relação à estabilidade articular.

Biskup *et al.* (2018) sugeriram, em seu estudo, que o deslocamento vertical após TPLO deve ser menor que 0,5mm nos pacientes ao caminhar. E justificam números maiores que este por problemas de fixação dos membros no aparato de teste, o que contradiz os números deste atual estudo, no qual os membros após TPLO sob carga de 50% do peso corporal demonstraram deslocamento vertical médio de 4,8mm. No entanto, é possível inferir que a fixação foi equânime em todos os membros avaliados, pelo pequeno desvio padrão de 2mm. Com base na análise estatística dos dados deste estudo em relação aos deslocamentos horizontais e verticais avaliados no ensaio mecânico, pode-se afirmar que a técnica de CBLO proporciona estabilidade semelhante à técnica de TPLO.

Nas técnicas de osteotomias da tíbia, a fixação com implantes deve ser robusta e com força suficiente para minimizar a chance de falhas (BIRKS; KOWALESKI, 2018). Estudos biomecânicos são realizados para avaliar implantes e eficácia das técnicas cirúrgicas, quantificando resultados e trazendo relevância clínica, pois resistência atestada e comprovada trazem maior segurança (YAMAUCHI *et al.*, 2016). No atual estudo, foi avaliada a carga máxima suportada pelas amostras de membros pélvicos com implantação das técnicas de TPLO e CBLO frente à carga crescente vertical. Alguns estudos com avaliação da TPLO em carga máxima obtiveram resultados com médias de $716.71 \pm 109.50\text{N}$ (BLEAKLEY *et al.*, 2021) e $781.7 \pm 173.4\text{N}$ (BISKUP *et al.*, 2018), que foram inferiores ao resultado observado no atual estudo, no qual foi alcançada carga máxima média após TPLO de $1106 \pm 505\text{N}$. No estudo de CLOUGH *et al.* (2022) foi descrito o resultado de 943N em média para a carga máxima na técnica de CBLO, que foi semelhante ao resultado do atual estudo em que a CBLO suportou em média $942,5 \pm 355\text{N}$. Ao se avaliar os dados de carga sobre os membros

de um cão, a distribuição de peso de um cão durante o caminhar é de aproximadamente 40% do peso corporal para os membros pélvicos (CARR; DYCOS, 2016). No trote, um cão de 32 kg de peso corporal exerce 229N de carga vertical nos membros pélvicos (BRADY *et al.*, 2013). Pode-se então inferir que os implantes suportaram forças no ensaio mecânico muito acima de um pico máximo fisiológico, conforme verificado no teste de força vertical. Não houve diferença significativa entre os grupos TPLO e CBLO, podendo-se inferir que ambas as técnicas apresentam resistência semelhante com $p = 0,2833$.

O deslocamento vertical até a ruptura na carga máxima foi aferido, e não houve diferença significativa entre os grupos TPLO e CBLO ($p = 0.1245$). A relação com estabilidade também pode ser sugerida, pela distribuição de cargas em cada técnica, porém o tipo de colapso sofrido pelo membro, pode influenciar em um maior ou menor deslocamento.

Foram observadas quatro características de falha dos corpos de prova no ensaio biomecânico destrutivo, sendo elas soltura/quebra do implante, fratura do fêmur, falência de tecidos moles periarticulares e fratura da tibia. A fratura do fêmur ocorreu em 42% dos testes neste estudo, sendo a mais frequente, seguida pela falência dos tecidos moles com 33%. Kettleman *et al.* (2023) obtiveram em seu estudo com TPLO, 29% de falha pela falência de tecidos moles (33% neste estudo com TPLO) e 17% de fraturas e associaram as falhas ao contato da máquina de ensaio universal e o seguimento proximal, o que pode ser a causa do elevado número de fraturas de fêmur neste estudo (50% na TPLO).

Em um estudo feito por Whitney *al.* (2021), com CBLO e variações, encontraram um maior número de falhas do sistema com a quebra do implante na tibia, o que aconteceu neste estudo somente em 4% dos casos. Além disso, não encontraram diferença significativa entre os modos de ruptura dentre as variações na CBLO, o que neste estudo corroborou em relação à TPLO com $p = 0.4615$. Esta não diferença significativa, segundo os autores, foi devido às condições equânimes dos testes em que cada membro foi submetido e não deve ser levada em consideração como uma possível inferência do que seria esperado clinicamente.

Na prática da clínica cirúrgica, a mudança do APT nos pós-cirúrgicos de osteotomias é um fenômeno chamado “rock back” (NANDA; HANS, 2019) É principalmente observado na técnica de TPLO, quando o APT fica superior a 5° (DUERR *et al.*, 2008). In vivo, foi observado que esta alteração ocorre significativamente aos 65 dias nos pós-cirúrgicos e que não está relacionada com peso do paciente, tipo de implante usado, taxa de cicatrização ou APT pré ou pós-cirúrgico (MOELLER *et al.*, 2006). Souza *et al.* (2021) relataram uma mudança no APT, in vivo, de $2.05^\circ \pm 3.05^\circ$; sem diferença significativa em relação ao peso do paciente. Estes achados corroboram com o estudo de que não encontraram relação da

mudança do APT no pós-operatório com idade, sexo, tipo de raça e peso. No atual estudo em cadáveres, após o teste destrutivo com aplicação de carga, houve diferença significativa entre o APT pós-cirúrgico e o APT após o teste destrutivo, somente na TPLO, inferindo que a relação carga/peso e mudança do APT possa existir. Este fato corrobora com um estudo em que 42% das amostras (10/24) ocorreram alteração da rotação do segmento proximal na TPLO ao teste destrutivo (KETTLEMAN *et al.*, 2023). Na CBLO não houve diferença significativa entre o APT pós cirúrgicos e após o teste destrutivo, fenômeno que necessita futuramente de confirmação clínica.

Existem limitações neste estudo. Por ser um estudo *ex vivo*, em que as amostras dos membros pélvicos foram preservadas congeladas, as propriedades biomecânicas dos ossos, articulação e tecidos moles periarticulares podem não representar exatamente as propriedades dos tecidos *in vivo*. Outra limitação é inerente à simplificação de uma articulação complexa como a do joelho, sendo limitada à compressão mecânica axial, não contemplando diferentes posições do joelho como varo e valgo e movimentos de torção. Além disso, os ensaios mecânicos foram realizados em amostras de membros pélvicos selecionados, sem alterações articulares. Cães com ruptura clínica do LCCr geralmente apresentam algum grau de osteoartrite na articulação do joelho. Assim, os resultados obtidos neste estudo não podem ser prontamente estendidos para cães com doença do LCCr. Apesar destas limitações, este estudo apresenta um modelo experimental restrito, porém apropriado, que se aproxima da aplicação de carga no membro pélvico *in vivo*, podendo servir no futuro como base para validação em sua estrutura e mecanismo para outros estudos biomecânicos.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que, por meio da análise biomecânica, a técnica de CBLO possui as mesmas características em estabilidade articular e resistência em relação à técnica de TPLO. Ambas as técnicas promovem maior estabilidade articular quando comparadas à articulação com o LCCr rompido, porém não alcançam a estabilidade articular observada na articulação com o LCCr íntegro.

REFERÊNCIAS

- APELT, D.; KOWALESKI, M. P.; BOUDRIEAU, R. J. Effect of tibial tuberosity advancement on cranial tibial subluxation in canine cranial cruciate- deficient stifle joints: an in vitro experimental study. **Veterinary Surgery**, v. 36, n. 2, p. 170-177, 2007.
- APELT, D. *et al.* Effect of cranial tibial closing wedge angle on tibial subluxation: an ex vivo study. **Veterinary Surgery**, v. 39, n. 4, p. 454-459, 2010.
- ARICAN, M. *et al.* Cranial Cruciate Ligament Rupture in Dogs-Evaluation of Postoperative Results of the CBLO Technique. **Acta Scientiae Veterinariae**, v. 52, 2024
- AULAKH, K. S. *et al.* Effect of tibial insertion site for lateral suture stabilization on the kinematics of the cranial cruciate ligament deficient-stifle during early, middle and late stance. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 26, n. 03, p. 208-217, 2013.
- BESTER, E. G. *et al.* Influence of tibial plateau angle in cranial cruciate ligament-deficient stifle on patellar ligament strain: an ex vivo study. **American Journal of Veterinary Research**, v. 86, n. 2, 2025.
- BLEAKLEY, S *et al.* Biomechanical Comparison of Tibial Plateau Leveling Osteotomy Performed with a Novel Titanium Alloy Locking Plate Construct vs. an Established Stainless-Steel Locking Plate Construct. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 8, p. 698159, 2021.
- BRADY, R.B. *et al.* Evaluation of gait-related variables in lean and obese dogs at a trot. **Am J Vet Res** 2013;74:757-762.
- BIRKS, R.R.; KOWALESKI, M.P. Combined tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity transposition: an ex vivo mechanical study. **Vet Comp Orthop Traumatol.** 31:124-130, 2018.
- BISKUP, J.J. *et al.* Contribution of antirotational pins and an intact fibula to the ex vivo compressive strength of four tibial plateau leveling osteotomy constructs. **American journal of veterinary research**, v. 79, n. 6, p. 621-627, 2018.
- CAQUÍAS, D. F.. Estudo biomecânico ex vivo da tensão do ligamento patelar à flexão do joelho com as técnicas de avanço da tuberosidade tibial (TTA) e osteotomia niveladora do platô tibial (TPLO), comparadas com tíbias não osteotomizadas. 2013. Tese de Doutorado. **Universidade de São Paulo.**
- CARR, B. J.; DYCUS, D. L. Canine gait analysis. **Recovery & Rehab**, v. 6, n. 2, p. 93-100, 2016.
- CHOATE, C. J. *et al.* Assessment of the craniocaudal stability of four extracapsular stabilization techniques during two cyclic loading protocols: a cadaver study. **Veterinary Surgery**, v. 42, n. 7, p. 853-859, 2013.

CLOUGH, W. T. *et al.* Combined center of rotation of angulation- based leveling osteotomy and tibial tuberosity transposition: An ex vivo mechanical study. **Veterinary Surgery**, v. 51, n. 3, p. 489-496, 2022.

COOK, J. L. Cranial cruciate ligament disease in dogs: biology versus biomechanics. **Veterinary Surgery**, v. 39, n. 3, p. 270-277, 2010. v

DE SOUZA, E. S. *et al.* Rock back phenomenon in 32 dogs that underwent tibial plateau levelling osteotomy. **Veterinárni medicína**, v. 66, n. 2, p. 58, 2021.

DUERR, F. M., *et al.* Treatment of canine cranial cruciate ligament disease. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 27, n. 06, p. 478-483, 2014.

ENGDAHL, K. *et al.* The epidemiology of stifle joint disease in an insured Swedish dog population. **Veterinary Record**, v. 189, n. 3, p. no-no, 2021.

HAGEMEISTER, N., *et al.* Validation of an experimental testing apparatus simulating the stance phase of a canine pelvic limb at trot in the normal and the cranial cruciate- deficient stifle: an in vitro kinematic study. **Veterinary surgery**, v. 39, n. 3, p. 390-397, 2010.

HOTTINGER, H.A. *et al.* Noninvasive kinematic analysis of the walk in healthy large-breed dogs. *Am J Vet Res.* 1996;57(3):381–388. doi:10.2460/ajvr.

JOHNSON, K. *et al.* The effect of stifle angle on cranial tibial translation following tibial plateau leveling osteotomy: an in vitro experimental analysis. **The Canadian Veterinary Journal**, v. 52, n. 9, p. 961, 2011.

KAISER, S.R.; BRUECKER, K.A. Cora Based TPLO in a 17 Week Old Boxer Dog. **In Veterinary Orthopedic Society 44th Annual Conference Abstracts. Part II. PODIUM ABSTRACTS (59)**, 2017.

KANNO, N. *et al.* Effect of the centre of rotation in tibial plateau levelling osteotomy on quadriceps tensile force: an ex vivo study in canine cadavers. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 32, n. 02, p. 117-125, 2019.

KETTLEMAN, William S. *et al.* Ex vivo biomechanical evaluation of a bone-screw-fastener for tibial plateau leveling osteotomy. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 10, p. 1207563, 2023.

KIM, Stanley E. *et al.* Effect of tibial plateau leveling osteotomy on femorotibial contact mechanics and stifle kinematics. **Veterinary Surgery**, v. 38, n. 1, p. 23-32, 2009.

KIM, Stanley E. *et al.* Effect of cranial cruciate ligament deficiency, tibial plateau leveling osteotomy, and tibial tuberosity advancement on contact mechanics and alignment of the stifle in flexion. **Veterinary Surgery**, v. 39, n. 3, p. 363-370, 2010.

MAZDARANI, P; PEDRAM, M. S.; MILES, J. E. Effect of center of rotation of angulation- based leveling osteotomy on ex vivo stifle joint stability following cranial cruciate ligament transection and medial meniscal release with and without a hamstring load. **Veterinary Surgery**, v. 51, n. 6, p. 940-951, 2022.

MOELLER, E. M.; CROSS, A. R.; RAPOFF, A. J. Change in tibial plateau angle after tibial plateau leveling osteotomy in dogs. **Veterinary surgery**, v. 35, n. 5, p. 460-464, 2006.

NANDA, A.; HANS, E. C. Tibial plateau leveling osteotomy for cranial cruciate ligament rupture in canines: patient selection and reported outcomes. **Veterinary Medicine: Research and Reports**, p. 249-255, 2019.

OBER, C. A. *et al.* Influence of tibial plateau leveling osteotomy and tibial tuberosity advancement on passive laxity of the cranial cruciate deficient stifle in dogs. **Veterinary surgery**, v. 48, n. 3, p. 401-407, 2019.

OBER, C. *et al.* The Effect of Increasing Tibial Tuberosity Advancement and Quadriceps Muscle Force on Cranial Translation of the Tibia in the Cranial Cruciate Deficient Stifle Joint in Dogs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, 2022.

PUTAME, G. *et al.* Surgical treatments for canine anterior cruciate ligament rupture: assessing functional recovery through multibody comparative analysis. **Front. Bioeng. Biotechnol.** 7:180. doi: 10.3389/fbioe.2019.00180.

REIF, U.; HULSE, D. A.; HAUPTMAN, J. G. Effect of tibial plateau leveling on stability of the canine cranial cruciate-deficient stifle joint: an in vitro study. **Veterinary Surgery**, v. 31, n. 2, p. 147-154, 2002.

SCHMUTTERER, J. M. *et al.* Evaluation of meniscal load and load distribution in the canine stifle after Tibial plateau levelling osteotomy with postoperative tibia plateau angles of 6 and 1 degrees. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 35, n. 02, p. 073-080, 2022.

SCHMUTTERER, J. M. *et al.* Meniscal Load and Load Distribution in the Canine Stifle after Modified Tibial Tuberosity Advancement with 9 mm and 12 mm Cranialization of the Tibial Tuberosity in Different Standing Angles. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 36, n. 05, p. 241-249, 2023.

TINGA, S. *et al.* Femorotibial kinematics in dogs treated with tibial plateau leveling osteotomy for cranial cruciate ligament insufficiency: an in vivo fluoroscopic analysis during walking. **Veterinary Surgery**, v. 49, n. 1, p. 187-199, 2020.

TINGA, S. *et al.* Stifle kinematics in 4 dogs with cranial cruciate ligament insufficiency treated by CORA-based leveling osteotomy. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, p. 1052327, 2022.

WARZEE, C. C. *et al.* Effect of tibial plateau leveling on cranial and caudal tibial thrusts in canine cranial cruciate-deficient stifles: An in vitro experimental study. **Veterinary Surgery**, v. 30, n. 3, p. 278-286, 2001.

WHITNEY, M. E. *et al.* Ex vivo biomechanical comparison of four Center of Rotation Angulation Based Leveling Osteotomy fixation methods. **Veterinary Surgery**, 2021.

WITSBERGER, T. H. *et al.* Prevalence of and risk factors for hip dysplasia and cranial cruciate ligament deficiency in dogs. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 232, n. 12, p. 1818-1824, 2008.

YAMAUCHI, Kelly Cristiane Ito et al. Comportamento biomecânico de diferentes placas de avanço da tuberosidade da tíbia em cães: estudo comparativo ex vivo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 68, p. 945-952, 2016.

.

ANEXO I



PRÓ-REITORIA DE PESQUISA
COMISSÕES PERMANENTES
COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS
Cx.P.3037 - Lavras - MG - 37200-000 - (35) 3829-5182
ceua.prp@ufla.br

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Avaliação biomecânica das técnicas de TPLO e CBLO para ruptura do ligamento cruzado cranial em cães - estudo ex-vivo" protocolo no 006/23, sob a responsabilidade de Leonardo Augusto Lopes Muzzi, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto homem), para fins de ensino e/ou pesquisa científica, encontra-se de acordo com os preceitos da Lei nº 11.794, de 8 de outubro de 2008, do Decreto nº 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas edificadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), do Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação (MCTI), e foi aprovada pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA) da Pró-Reitoria de Pesquisa/UFLA, em reunião de 16/02/2023.

Vigência da autorização: de 01/03/2023 a 30/06/2025

Finalidade: () Ensino (x) Pesquisa Científica () Treinamento/Extensão

Espécie/linhagem/raça: Cão

Número de animais aprovados: 12 cadáveres

Peso/Idade: -

Sexo: fêmea e macho

Origem dos animais: (documento apresentado pelo pesquisador responsável e arquivado pela CEUA): serão utilizados membros pélvicos de cadáveres caninos.

ANEXO II

Set up Ensaio Biomecânico

N° _____ Nome _____ Peso _____ Carga _____

- Preparação da amostra - serrar 1/3 do fêmur proximal + desarticulação tibiotársica
- RX 1 – avaliação articulação e planejamento cirúrgico
- Montagem da amostra na Instron
- RX2 – 135° (Joelho íntegro) – carga 50% PV
- Retirar Carga – Artrotomia craniomedial – Ruptura LCCr
- Carga 50% PV – RX 3
- Cirurgia ____ TPLO x CBLO ____
- RX 4 – Pós cirúrgico – medida APT
- RX5 – Carga 50% PV
- RX 6 - Ensaio Destrutivo
- RX 7 - APT pós ensaio destrutivo

Ângulo final	Carga final	Deslocamento