

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**Análise Biomecânica Da Laminectomia Dorsal Funckquist B
Entre As Vértébras Cervicais 6 E 7 Em Cães**

Julián Andrés Sanjuán Galíndez

Médico Veterinário Zootecnista

2020

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**ANÁLISE BIOMECÂNICA DA LAMINECTOMIA DORSAL
FUNCKQUIST B ENTRE AS VÉRTEBRAS CERVICAIS 6 E 7
EM CÃES**

Discente: Julián Andrés Sanjuán Galíndez

Orientador: Prof. Dr. Bruno Watanabe Minto

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Vinicius Tertuliano Marinho

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP,
câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para a obtenção do título de Mestre
em Cirurgia Veterinária.**

2020

G158a

Galíndez, Julián Andrés Sanjuán

Análise Biomecânica Da Laminectomia Dorsal Funckquist B Entre As Vértébras Cervicais 6 E 7 Em Cães / Julián Andrés Sanjuán Galíndez. -- Jaboticabal, 2020

58 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado profissional) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal

Orientador: Bruno Watanabe Minto

Coorientador: Paulo Vinicius Tertuliano Marinho

1. Biomecânica. 2. Cão. 3. Descompressão dorsal. 4. Instabilidade vertebral. I. Título.

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: ANÁLISE BIOMECÂNICA DA LAMINECTOMIA DORSAL FUNCKQUIST B
ENTRE AS VÉRTEBRAS CERVICAIS 6 E 7 EM CÃES

AUTOR: JULIAN ANDRES SANJUAN GALINDEZ

ORIENTADOR: BRUNO WATANABE MINTO

COORIENTADOR: PAULO VINICIUS TERTULIANO MARINHO

Aprovado como parte das exigências para obtenção do Título de Mestre em CIRURGIA
VETERINÁRIA, pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. BRUNO WATANABE MINTO
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal

Prof. Dr. LUIS GUSTAVO GOSUEN GONÇALVES DIAS
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / FCAV / UNESP - Jaboticabal
(VIDEOCONFERÊNCIA)

Prof. Dr. GUILHERME GALHARDO FRANCO
Hospital Veterinário - Alegre/ES / Universidade Federal do Espírito Santo-UFES
(VIDEOCONFERÊNCIA)

Jaboticabal, 04 de junho de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Julián Andrés Sanjuán Galíndez- Nascido em Pitalito- Huila, Colômbia, 12 de novembro de 1989, filho de Javier Sanjuán Gomez e Maria Elcira Galíndez Ceron. Graduado em Medicina Veterinária e Zootecnia pela “Universidad de la Amazonia” UDLA (2007-2012). Atualmente é aluno de mestrado em Cirurgia Veterinária pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de mesquita filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, câmpus de Jaboticabal, sob orientação do Prof. Dr. Bruno Watanabe Minto e coorientação do Prof. Dr. Paulo Vinicius Tertuliano Marinho. Tem experiência na área de Medicina Veterinária, com ênfase em clínica e cirurgia veterinária, atuando principalmente em cirurgia de tecidos moles, cirurgia ortopédica e neurocirurgia.

“A educação é a arma mais poderosa que você
pode usar para mudar o mundo”. Nelson Mandela

Dedico este trabalho a Deus, a minha família e a
todos meus amigos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus por ter me dado saúde para continuar crescendo como pessoa e dar o meu melhor para a sociedade.

Grande agradecimento ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) por ter me financiado durante o tempo da pesquisa.

Ao meu pai Javier Sanjuán que sempre me apoiou e acreditou em mim. A minha mãe Maria Elcira Galíndez que continuamente me instruiu para prosseguir estudando e não desistir em nenhum momento.

A minha mulher Marilia que sempre esteve para me ajudar nos momentos que mais precisei e me deu o maior presente que foi a nossa filha Isabella quem me estimulou ainda mais para continuar trilhando novos caminhos.

As minhas irmãs Gilary, Magaly e Maria Paula que sempre estiveram me apoiando para nunca desistir dos meus sonhos.

Aos meus avós que sempre me ensinaram a importância do respeito ao próximo e sempre cuidaram de mim.

Ao meu Orientador, Professor Bruno Watanabe Minto por ter me dado esta grande oportunidade e ter me ensinado sem nenhum limite durante esta etapa. Agradecimento infinito.

Ao meu coorientador, Professor Paulo Tertuliano Marinho por ter me assessorado durante esta longa jornada.

Ao professor Antonio Carlos Shimano que sempre esteve disponível para me orientar e auxiliar durante o desenvolvimento dos testes biomecânicos do meu trabalho.

Ao Rodrigo Carlos Franco Minozzi que sempre teve disponibilidade para ajudar coletando os animais que utilizei para meu experimento.

À Clínica Veterinária Animais de Sertãozinho e a sua proprietária Dra. Luciana Netto por ter me apoiado infinitamente na minha carreira e ter me permitido realizar as radiografias das colunas.

À Clínica Veterinária Animais de Ribeirão Preto especialmente ao Dr. Vinicius Dias por ter disponibilizado seu equipamento e tempo para a realização das tomografias das colunas.

Ao programa de pós-graduação em cirurgia veterinária e aos meus companheiros do laboratório de Ortopedia e Neurocirurgia Veterinária (LONV) da Unesp de Jaboticabal.

Aos pós graduandos Cristhian, Adrielly, e Dayvid por ter feito parte do trabalho do meu experimento.

Aos professores Luis Gustavo Gosuen Gonçalves Dias e Paola Castro Moraes por ter me dado a oportunidade de fazer parte dos cursos de cirurgia onde fui monitor.

SUMÁRIO

	Página.
CERTIFICADO COMITÊ DE ÉTICA.....	iii
RESUMO.....	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO 1	viii
CAPÍTULO 1 Considerações gerais.....	17
1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2. OBJETIVOS	20
2.1 Objetivo Geral.....	20
2.2 Objetivos específicos.....	21
3. HIPÓTESES.....	21
4. MATERIAL E MÉTODOS.....	21
4.1 Bioética.....	21
4.2 Obtenção das colunas.....	22
4.3 População de estudo.....	22
4.3.1 Critérios de inclusão	22
4.3.2 Critérios de exclusão	23
4.3.3 Grupos experimentais.....	23
4.4 Preparação das colunas.....	23
4.5 Avaliação biomecânica.....	27

4.5.1	Dispositivos de fixação na máquina universal de ensaios	27
4.5.2	Ensaio mecânicos de flexão ventral e extensão	29
4.6	Delineamento experimental e análise estatística	29
5.	REFERÊNCIAS.....	30
CAPÍTULO 2 – Artigo científico nas normas da revista Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology		35
	Resumo	35
	Abstract	36
	Introdução	37
	Materiais e métodos	38
	Resultados	43
	Discussão.....	46
	Referências	50
CAPÍTULO 3 – Considerações finais		55
1.	Limitações do estudo	55
2.	Conclusões	55
3.	Perspectivas futuras.....	55

CERTIFICADO COMITÊ DE ÉTICA



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
 Câmpus de Jaboticabal



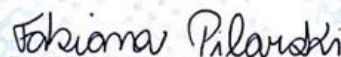
CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

C E R T I F I C A D O

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado **"Laminectomia cervical multinível em cães, estudo biomecânico ex-vivo"**, protocolo nº 008456/18, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Bruno Watanabe Minto, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 05 de julho de 2018.

Vigência do Projeto	09/07/2018 a 09/07/2019
Espécie / Linhagem	Canina / SRD
Nº de animais	50
Peso / Idade	20 – 25 Kg / 2 – 10 anos
Sexo	Ambos os sexos
Origem	Serviço de Clínica Médica e Cirúrgica do Hospital Veterinário "Governador Laudo Natel"— Unidade Auxiliar da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias (FCAV) — UNESP Campus de Jaboticabal — SP.

Jaboticabal, 05 de julho de 2018.


Profª Drª Fabiana Pilarski
 Coordenadora – CEUA

Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias
 Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n CEP 14884-900 - Jaboticabal/ SP - Brasil
 tel 16 3209 7100 www.fcav.unesp.br



Scanned with
CamScanner

ANÁLISE BIOMECÂNICA DA LAMINECTOMIA DORSAL FUNCKQUIST B ENTRE AS VÉRTEBRAS CERVICAIS 6 E 7 EM CÃES

RESUMO - A laminectomia cervical dorsal é um procedimento cirúrgico realizado para tratar síndromes que causam compressão ou estenose do canal medular. É particularmente utilizada em condições compressivas, únicas ou múltiplas, que afetam as porções dorsais, ventrais e laterais do canal medular e da medula espinhal. A despeito de técnicas menos invasivas como a hemilaminectomia e pediclectomia, apresenta baixa morbidade, bom prognóstico e recuperação na maioria dos casos. O objetivo deste estudo foi comparar a resistência e a amplitude de movimento (ADM) de colunas vertebrais cervicais (CVCs) íntegras de cadáveres caninos com laminectomia entre as vértebras cervicais seis e sete (C6-C7). Quarenta e quatro colunas vertebrais cervicais (C2-T1) de cães de porte grande com peso médio de 26,2 kg e esqueleticamente maduros foram selecionadas mediante radiografia e tomografia computadorizada foi avaliada a resistência mediante a aplicação de força em Newtons (N) e a ADM em milímetros (mm) desde C2 até C7 de um grupo controle (controle flexão) e de um grupo com laminectomia (laminectomia flexão) em flexão ventral. Posteriormente, avaliou-se a resistência e a ADM de um grupo controle (controle extensão) e um grupo laminectomia (laminectomia extensão) em extensão usando teste mecânico destrutivo de ciclo único em 2 pontos. Os resultados numéricos de força para mensurar a resistência, e a ADM das colunas dos dois grupos controle e dos dois grupos laminectomia foram comparados entre si. Os grupos com laminectomia apresentaram valores menores de força independente do teste mecânico realizado ($P < 0,001$). A ADM não foi influenciada pelo uso da laminectomia, independentemente do tipo de ensaio mecânico (flexão ventral ou extensão) ou a sua interação ($P < 0,05$). Não houve interação entre o efeito do fator laminectomia *sim ou não* (EFL), nem no efeito do ensaio mecânico flexão ventral ou extensão (EM_{fe}) ($P < 0,05$). A laminectomia cervical dorsal funkquist B entre C6-C7 diminui a resistência mecânica com força de carga suprafisiológica, mas não altera a ADM de colunas vertebrais cervicais podendo ser utilizada sem necessidade de estabilização mecânica em cães de grande porte.

Palavras chave: biomecânica, cão, descompressão dorsal, instabilidade vertebral.

Biomechanical Analysis Of Dorsal Laminectomy Funkquist B Between Cervical Vertebrae 6 And 7 In Dogs

ABSTRACT - Dorsal cervical laminectomy is a surgical procedure performed to treat syndromes that cause compression or stenosis of the spinal canal. It is particularly used in compressive single or multiple conditions which affect the dorsal, ventral and lateral portions of the spinal cavity and spinal cord, despite less invasive techniques such as hemilaminectomy and pediculectomy, it has low morbidity, good prognosis and recovery in most of cases. The aim of this study was to compare the resistance and range of motion (ROM) of intact cervical spine columns (CSCs) from canine cadavers with laminectomy between cervical vertebrae six and seven (C6-C7). Forty-four cervical vertebral columns (C2-T1) of large dogs with an average weight of 26.2 kg and skeletally mature were selected using radiography and computed tomography. The resistance was evaluated by applying force in Newtons (N) and the ROM in millimeters (mm) from C2 to C7. The resistance was evaluated by applying force in Newtons (N) and the ROM in millimeters (mm) from C2 to C7 in a control group (control flexion) and in a group with laminectomy (laminectomy flexion) in ventral flexion. Resistance and ROM of a control group (control extension) and a laminectomy group (laminectomy extension) in extension were evaluated using a single-point destructive mechanical test at 2 points. The numerical results of strength to measure the resistance, and the ROM of the columns of the two control groups and of the two laminectomy groups were compared to each other. The groups with laminectomy showed lower values of strength regardless of the mechanical test performed ($P < 0.001$). ROM was not influenced by the use of laminectomy, regardless of the type of mechanical test (ventral flexion or extension) or its interaction ($P < 0.05$). There was no interaction between the effect of the laminectomy factor yes or no (EFL), nor the effect of the mechanical test on ventral flexion or extension (EMfe) ($P < 0.05$). Dorsal cervical laminectomy funkquist B between C6-C7 decreases mechanical resistance with supraphysiological loading force, but does not alter the ROM of cervical spine and can be used without mechanical stabilization in large dogs.

Keywords: biomechanics, dog, dorsal decompression, vertebral instability.

LISTA DE ABREVIATURAS

ADM – amplitude de movimento

FM – força máxima

CVC_s – colunas vertebrais cervicais

UVM_s – unidades vertebrais motoras

PMMA – polimetilmetacrilato

EMC – espondilomielopatia cervical

MUE – máquina universal de ensaios

DMM – dispositivo metálico maior

DMF – dispositivo metálico fino

EFLM – efeito do fator laminectomia *sim ou não*

EM_{fe} – efeito do ensaio mecânico flexão ventral ou extensão

N – Newton

Kg – quilograma

Kgf – quilograma-força

mm – milímetros

mL – mililitros

g – grama

mm/min – milímetros por minuto

LISTA DE TABELAS

Página.

Tabela 1. Valores médios de força máxima (FM) e amplitude de movimento (ADM) para os 4 grupos após ensaios mecânicos de flexão e extensão.	43
Tabela 2. Média $\pm$ desvio padrão da força máxima (FM) e amplitude de movimento (ADM) durante ensaios mecânicos de flexão e extensão em colunas cervicais com ou sem laminectomia.	45

LISTA DE FIGURAS DO CAPÍTULO 1

Página.

- Figura 1.** (1) Imagem radiográfica de uma coluna cervical (C2-T1) em projeção dorso ventral. Corpo de T1 (A) e tecido mole adjacente (B), os processos espinhosos de T1 e C2 não são observados nesta projeção. (2) Imagem radiográfica em projeção lateral de uma coluna cervical (C2-T1). Corpo vertebral de T1 (A), tecido mole adjacente aos processos articulares C4-C5 e processo espinhoso de C5 (B). Processo espinhoso de C2 (C) e processo espinhoso de T1 (D) onde fica a origem e a inserção do ligamento nual (E) respectivamente. 24
- Figura 2.** (1) Imagem tomográfica de um corte transverso da terceira vertebral cervical (C3) obtida de uma coluna vertebral cervical do estudo em tela. Processo espinhoso (A), processo articular (B), forame vertebral (C), forame transverso (D), corpo vertebral (E) e o processo transverso (F). (2) A mesma imagem tomográfica de C3 em reconstrução tridimensional (3D) mostrando por meio das letras as mesmas estruturas anatômicas citadas na imagem (1) desta figura. 25
- Figura 3.** (1) Imagem fotográfica de uma coluna cervical preparada para aplicar o PMMA; as setas pretas indicam as pontas do pino que foi colocado transversalmente ao corpo vertebral de T1, as setas brancas indicam as pontas do pino que foi colocado transversalmente ao corpo vertebral de C7. (2) Imagem fotográfica mostrando o PMMA (seta preta) ingressando ao molde (seta branca). (3) Imagem fotográfica mostrando o PMMA (seta branca) fixado sobre a região caudal da coluna cervical (corpos vertebrais de C7-T1). 26
- Figura 4.** (1) Representação esquemática de uma vertebra depois da laminectomia funkquist B. O processo espinhoso e a lamina dorsal (A) tem sido removidos mas os processos articulares (B) foram preservados. (2) Imagem fotográfica de uma coluna cervical (C2-T1) do trabalho em tela pronta para realizar ensaio mecânico, a laminectomia funkquist B (A) foi realizada e os processos articulares craniais e caudais estão íntegros (B). 27

Figura 5. (1) Imagem fotográfica da coluna cervical tomada de forma oblíqua, fixada em diferentes dispositivos para ensaio mecânico de extensão. (A) Máquina Universal de Ensaio mecânicos, (B) dispositivo ligado à célula de carga, (C) dispositivo metálico maior (DMM), (D) copo metálico na base do DMM, (E) polia posicionada perto da superfície do DMM, (F) dispositivo metálico fino, (G) vertebra C2, (H) pino de Steinmann de 5 mm colocado nos orifícios perpendiculares ao canal medular. (2) Imagem fotográfica tomada em projeção crânio caudal mostrando as mesmas partes e com as mesmas letras do que a imagem 1. 28

CAPÍTULO 1 Considerações gerais

1. INTRODUÇÃO E REVISÃO DE LITERATURA

As afecções da coluna vertebral e medula espinhal têm ganhado grande importância como causa de incapacidade física dos animais de companhia, representando altas proporções de casos na maioria dos centros de referência veterinária (Fujioka et al., 2019; Santini et al., 2010).

As vértebras são ossos irregulares que possuem como componentes básicos o corpo vertebral, o arco e seus processos, os quais são modificados de formas distintas de acordo com as necessidades funcionais da região espinhal. A coluna cervical dos cães e gatos é composta por sete vértebras, sendo que, atlas (C1) e áxis (C2) apresentam morfologia distintas das demais (C3-C7) (Budras et al., 2012).

A laminectomia dorsal foi citada há mais de cinco décadas e é realizada rotineiramente para o tratamento de síndromes que causam compressão ou estenose do canal medular (Allen et al., 1987; Shimizu et al., 2016). Este procedimento cirúrgico é indicado quando existem lesões únicas e múltiplas que afetam as porções dorsais, ventrais e laterais do canal medular e da medula espinhal, embora outras técnicas cirúrgicas como; hemilaminectomia e pediclectomia sejam menos invasivas, a laminectomia é uma opção cirúrgica de baixa morbidade, bom prognóstico e boa recuperação na maioria dos cães, pois descomprime uma grande porção de canal vertebral e medula espinhal (Gill et al., 1996; Kosuke et al., 2016; Taylor-Brown et al., 2015; Hwang et al., 2016; Lee et al., 2020)

A estenose cervical congênita ou adquirida, a mielopatia espondilótica cervical, a radiculopatia espondilótica cervical em vários níveis, a ossificação do ligamento longitudinal posterior, a calcificação do ligamento amarelo, os neoplasmas e a infecção são alterações nas quais a laminectomia é indicada em humanos (McAllister et al., 2012)

A espondilomielopatia cervical (EMC), também conhecida como síndrome de Wobbler, é uma combinação de malformação e má articulação vertebral que afeta as vértebras cervicais caudais (principalmente C5-C6 e C6-C7) e estruturas de tecidos moles adjacentes, resultando em compressão da medula espinhal cervical. A EMC é uma das principais alterações onde a laminectomia dorsal pode ser indicada em cães. A laminectomia também pode ser indicada para o tratamento de compressão medular por hérnia de disco Hansen tipo I e tipo II principalmente em casos crônicos onde além da compressão medular ventral pode existir compressão dorsal da medula espinhal (Sembenelli et al., 2016; Scott et al., 2013; Dewey et al., 2016). Alterações como; neoplasmas ósseos das vertebrae cervicais e das meninges, estenose do canal medular, fraturas vertebrais, parasitas extramedulares ou corpos estranhos no canal vertebral ou nas meninges, divertículos aracnoides e sinus dérmico em cães são alguns problemas cervicais que podem ser tratados com laminectomia dorsal (Bonawandt et al., 2017; Smith e Fitzpatrick, 2009; Mauler et al., 2017; Züger et al., 2018; Stigen et al., 2011; Fehlings et al., 2006).

A classificação para descrever o tipo de laminectomia é dividida em 4 métodos:

Método Funkquist A: laminectomia dorsal com remoção dos processos espinhosos (cranial e caudal), processos articulares craniais e caudais, lâmina dorsal e a região mais dorsal dos pedículos.

Método Funkquist B: são removidos tanto processos espinhosos (cranial e caudal) quanto a lâmina dorsal e os processos articulares craniais e caudais são preservados.

Laminectomia dorsal modificada: os processos espinhosos (cranial e caudal), a lâmina dorsal e os processos articulares caudais são removidos.

Laminectomia dorsal profunda: laminectomia dorsal com remoção dos processos espinhosos (cranial e caudal), processos articulares craniais e caudais, lâmina dorsal e ambos pedículos (Shores e Brisson, 2017).

Complicações reportadas principalmente em humanos e em alguns animais como; crescimento exagerado de osso, formação de membranas constritivas por causa da

grande reação periosteal, diferentes graus de deformidade na coluna vertebral e formação de espondilose cervical são algumas alterações decorrentes da laminectomia cervical dorsal (LaRocca e Macnab, 1974; Zanasi et al., 1984; Ishida et al., 1989). Dentre as complicações pós-operatórias relacionadas à laminectomia dorsal, a instabilidade merece destaque, especialmente pelo fato de não se ter ainda completo entendimento sobre a necessidade de estabilização cirúrgica complementar em cães.

A ADM descreve o grau de amplitude que uma articulação sinovial pode atingir, do ponto de vista da biomecânica cervical, as mudanças mais importantes encontradas após uma laminectomia são as modificações da ADM em diferentes planos anatômicos (flexão ventral, extensão, flexão lateral e rotação axial), especialmente em flexão e extensão, estas foram estudadas em humanos resultando em alterações como; aumento da mobilidade e diminuição da força aplicada para gerar instabilidade, afetando diretamente a resistência da região operada. Diferentes estudos experimentais da coluna cervical em humanos e simulações utilizando o método dos elementos finitos, têm demonstrado que a laminectomia única e as múltiplas, produzem instabilidade biomecânica consistente em colunas vertebrais cervicais e em unidades vertebrais motoras (UVMs) cervicais (Kubo et al., 2003; Xie et., 2013; Healy et al., 2016).

Alguns estudos reportaram que a laminectomia dorsal aumentou em média $12\% \pm 9\%$ da ADM durante ensaio mecânico de flexão e $17\% \pm 13\%$ durante ensaio mecânico de extensão comparadas com colunas vertebrais cervicais tratadas mediante laminoplastia em humanos (Adamo et al., 2007). Outros autores observaram incremento de 21% nos movimentos de flexão ventral e extensão, 8% em flexão lateral e 15% na rotação axial depois de uma laminectomia feita entre C3-C6 (Kode et al., 2012).

Há relatos da necessidade de reintervenção cirúrgica devido à excessiva instabilidade após laminectomias em diferentes segmentos sem fixação. O Objetivo da fixação é evitar deformidades ou degenerações das unidades motoras adjacentes à unidade abordada cirurgicamente. Em humanos a descompressão anterior com fusão e a laminoplastia (procedimentos cirúrgicos com fixação) mostraram uma boa recuperação neurológica dos pacientes, no entanto no pós operatório a lordose foi melhor manejada

com descompressão anterior com fusão do que com a laminoplastia. A descompressão anterior com fusão teve maiores complicações cirúrgicas que a laminoplastia em pacientes com mielopatia espondilótica cervical, não obstante estes procedimentos cirúrgicos não aliviam completamente a estenose cervical como sucede com a laminectomia cervical dorsal, tornando-a uma técnica cirúrgica com excelentes resultados descompressivos (Tuan et al., 2019; Lewchalermwong et al., 2018; Yoshii et al., 2020; Subramaniam et al., 2009).

Kosuke et al. (2016) reportaram o uso da laminectomia em dois ou mais espaços intervertebrais sem estabilização em 90 cães de raças pequenas (até 10 kg) mostrando que todos (100%) os animais operados voltaram a deambular entre um e vinte dias após a cirurgia. Outros autores relatam o uso de diferentes tipos de implantes para estabilização da coluna vertebral cervical após o uso da laminectomia, pois acreditam que por esta causar instabilidade em humanos, poderia haver similaridade em cães (Fernandes et al., 2019). Existem diversos estudos em cães mostrando as vantagens e desvantagens de vários tipos de configurações com diferentes implantes para a estabilização da coluna vertebral cervical, mas ainda a biomecânica da coluna cervical canina não está bem elucidada (Hettlich et al., 2014; Hettlich et al., 2013; Hicks et al., 2009; Trotter et al., 2009). Diante da necessidade de melhor entendimento sobre os efeitos da laminectomia na estabilidade pós-operatória das colunas vertebrais cervicais o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da laminectomia dorsal na estabilidade dos segmentos vertebrais C6 e C7 em cadáveres caninos.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Comparar o grau de instabilidade vertebral cervical entre colunas integras e colunas com laminectomia dorsal cervical no segmento vertebral C6-C7 mediante ensaios mecânicos destrutivos de flexão ventral e extensão.

2.2 Objetivos específicos

Avaliar a resistência e a amplitude de movimento de colunas vertebrais cervicais de cadáveres caninos submetidos à laminectomia cervical Funckquist B entre as vértebras cervicais seis e sete (C6-C7).

Determinar a necessidade de estabilização mecânica em cães de grande porte após uma laminectomia cervical Funckquist B entre C6-C7.

Entender o comportamento biomecânico do tecido ósseo e tecidos moles de colunas cervicais caninas com laminectomia cervical Funckquist B entre C6-C7.

3. HIPÓTESES

A principal hipótese deste trabalho é que a laminectomia cervical Funckquist B entre C6-C7 produz alterações biomecânicas associadas à instabilidade em colunas vertebrais cervicais de cadáveres caninos de grande porte.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Bioética

O estudo foi realizado nas instalações da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Jaboticabal (SP) e no Laboratório de Bioengenharia da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto – USP. O projeto de pesquisa foi realizado de acordo com as normas internacionais e aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais (CEUA) da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista (UNESP) – Jaboticabal – SP (Protocolo: 008456 de 2018).

4.2 Obtenção das colunas

Foram utilizados cadáveres caninos, esqueleticamente maduros, sem padrão racial definido, provenientes de eutanásia ou morte por razões não relacionadas ao estudo. As colunas cervicais (C2-T1) foram coletadas preservando a musculatura adjacente e o ligamento nual. Imediatamente após a coleta foram armazenadas em toalhas umedecidas com solução de cloreto de sódio (NaCl 0,9%) em temperatura de - 20°C.

4.3 População de estudo

4.3.1 Critérios de inclusão

Foram admitidos 44 cadáveres caninos de 2 a 10 anos de idade machos ou fêmeas, castrados ou não castrados, com peso que oscilava entre 20 e 30 kg e tamanho semelhante das colunas cervicais, sem alterações neuroanatômicas ou musculoesqueléticas nos exames radiográficos e tomográficos. Os animais vieram a óbito por circunstâncias diferentes das lesões da coluna vertebral ou síndromes que comprometessem a integridade do sistema músculo esquelético.

4.3.2 Critérios de exclusão

Colunas vertebrais cervicais de cães imaturos (com presença de placa de crescimento abertas), de geriátricos com possíveis lesões degenerativas, de cães com neoplasias, com histórico de lesões osteomusculares ou neurológicas e aquelas com uma ou mais alterações radiográficas / tomográficas aparentes, ou com densidade óssea alterada, não foram incluídas no estudo.

4.3.3 Grupos experimentais

As 44 colunas cervicais foram distribuídas aleatoriamente em 4 grupos experimentais (n=11): Grupo controle flexão ventral (controle flexão) composto de colunas cervicais não tratadas, para ensaio mecânico de flexão ventral; Grupo controle extensão (controle extensão) com colunas cervicais não tratadas, para ensaio mecânico de extensão; Grupo com laminectomia para ensaio de flexão ventral (controle laminectomia) com colunas cervicais tratadas com laminectomia ao nível de C6-C7, para ensaio mecânico de flexão ventral; e Grupo com laminectomia para ensaio de extensão (controle extensão) com colunas cervicais tratadas com laminectomia ao nível de C6-C7, para ensaio mecânico de extensão.

4.4 Preparação das colunas

Cinco dias após a coleta, todas as colunas vertebrais cervicais (C2-T1) foram descongeladas a temperatura ambiente durante um período de 24 horas. Posteriormente foram radiografadas (Equipamento de radiografia digital; Siemens RG150/100gl, Munique – Alemanha) (**Figura 1**) em projeções laterais e dorsoventrais e submetidos à

tomografia computadorizada (GE hispeed FXI helicoidal 4 canais) (**Figura 2**) para identificar alterações preexistentes.

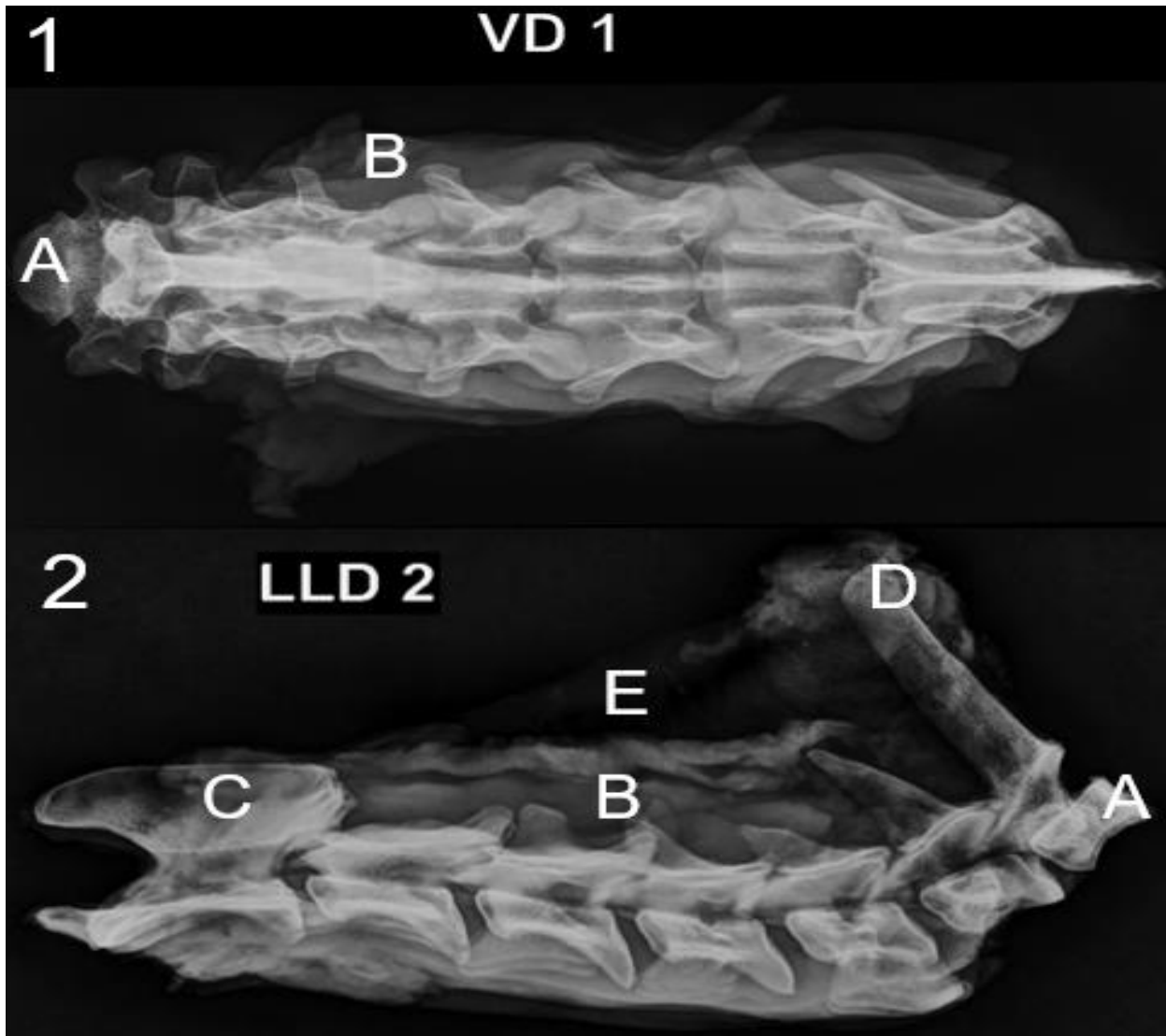


Figura 1. (1) Imagem radiográfica de uma coluna cervical (C2-T1) em projeção dorso ventral. Corpo de T1 (A) e tecido mole adjacente (B), os processos espinhosos de T1 e C2 não são observados nesta projeção. (2) Imagem radiográfica em projeção lateral de uma coluna cervical (C2-T1). Corpo vertebral de T1 (A), tecido mole adjacente aos processos articulares C4-C5 e processo espinhoso de C5 (B). Processo espinhoso de C2 (C) e processo espinhoso de T1 (D) onde fica a origem e a inserção do ligamento nuchal (E) respectivamente.

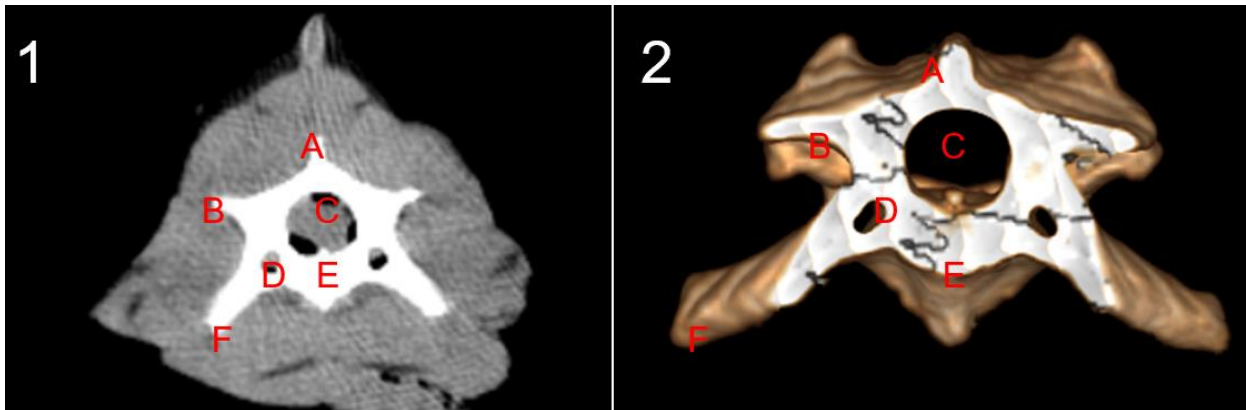


Figura 2. (1) Imagem tomográfica de um corte transverso da terceira vertebral cervical (C3) obtida de uma coluna vertebral cervical do estudo em tela. Processo espinhoso (A), processo articular (B), forame vertebral (C), forame transverso (D), corpo vertebral (E) e o processo transverso (F). (2) A mesma imagem tomográfica de C3 em reconstrução tridimensional (3D) mostrando por meio das letras as mesmas estruturas anatômicas citadas na imagem (1) desta figura.

A superfície óssea de C2 e o corpo vertebral de C7 e T1 foram tratados mediante exérese de tecido mole paravertebral, porém mantendo-se a musculatura epaxial e preservando-se os ligamentos espinhais e cápsulas articulares intactas das demais vértebras. Para a fixação dos espécimes C2-T1 foram utilizados pinos de Steinmann de 2 mm e polimetilmetacrilato (PMMA). Um pino foi colocado no centro do corpo vertebral de C7 e outro no centro do corpo de T1, paralelos entre si e perpendiculares ao canal medular vertebral por meio de uma furadeira de baixa rotação da marca Stryker® (System CD3) e cortados com uma cisalha deixando-se 10 mm de pino remanescentes nas laterais (**Figura 3**).

O polimetilmetacrilado (PMMA), preparado a partir de 80 g de polímero (pó) e 40 mL de monômero (líquido), foi misturado numa cuba de aço inox e aplicado após alinhamento da coluna e colocação do molde em T1 (sem preencher o processo espinhoso) e no corpo vertebral de C7 até completa polimerização (**Figura 3**). Na região lateral do forame transverso esquerdo e posteriormente do direito de C2, foi realizado um orifício perpendicular ao canal medular com broca de aço inox de 5 mm para posterior colocação de pino de Steinmann (5 mm) na hora de colocar o dispositivo metálico fino na

máquina universal de ensaios mecânicos. Os espécimes foram armazenados em toalhas umedecidas com solução salina estéril 0,9% e posteriormente congelados e mantidos a uma temperatura de -20°C até o dia da laminectomia e testes mecânicos.

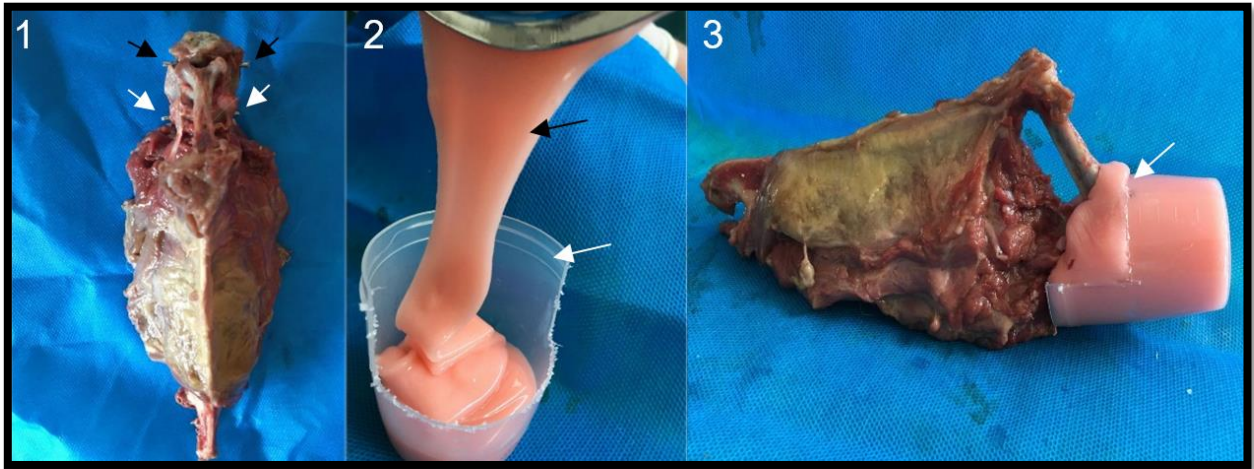


Figura 3. (1) Imagem fotográfica de uma coluna cervical preparada para aplicar o PMMA; as setas pretas indicam as pontas do pino que foi colocado transversalmente ao corpo vertebral de T1, as setas brancas indicam as pontas do pino que foi colocado transversalmente ao corpo vertebral de C7. (2) Imagem fotográfica mostrando o PMMA (seta preta) ingressando ao molde (seta branca). (3) Imagem fotográfica mostrando o PMMA (seta branca) fixado sobre a região caudal da coluna cervical (corpos vertebrais de C7-T1).

Uma laminectomia Funkquist B entre C6 e C7 foi realizada nos espécimes de acordo com a técnica descrita por Funkquist e Schantz (1962) Foram removidos os processos espinhosos C6-C7 e aproximadamente 66% do comprimento das laminais dorsais de C6 e C7, mantendo-se as facetas articulares, craniais e caudais, intactas (Figura 4).

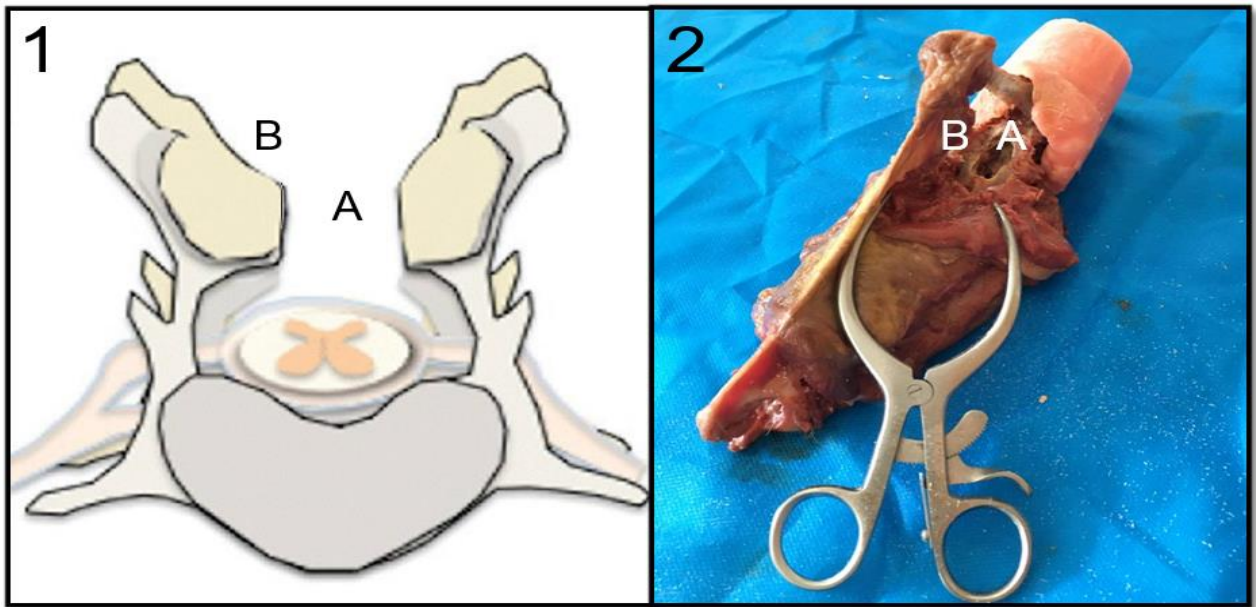


Figura 4. (1) Representação esquemática de uma vertebra depois da laminectomia funkquist B. O processo espinhoso e a lamina dorsal (A) tem sido removidos mas os processos articulares (B) foram preservados. (2) Imagem fotográfica de uma coluna cervical (C2-T1) do trabalho em tela pronta para realizar ensaio mecânico, a laminectomia funkquist B (A) foi realizada e os processos articulares craniais e caudais estão íntegros (B).

4.5 Avaliação biomecânica

4.5.1 Dispositivos de fixação na máquina universal de ensaios

Um dispositivo metálico maior munido de um copo na sua base e uma polia próximo à sua superfície, foi posicionado no eixo axial da célula de carga sem ligação a esta. Um dispositivo metálico fino fabricado com arame de aço inox AISI-304L e formatado com uma asa em uma extremidade e duas asas na outra extremidade também foi utilizado. Estes dois dispositivos foram fabricados para posicionar as colunas vertebrais cervicais. Para a montagem da região caudal (que continha o PMMA) das

colunas vertebrais cervicais no copo metálico do dispositivo metálico maior, três parafusos foram colocados para sua fixação. Na região cranial, um pino de Steinmann de 5 mm foi colocado nos orifícios realizados previamente nos forames transversos de C2; posteriormente, as duas asas da extremidade do dispositivo metálico fino foram colocadas em cada porção lateral do pino. A outra extremidade do dispositivo metálico fino foi colocado diretamente em outro dispositivo metálico, o qual estava ligado à célula de carga, após ter passado pela base da polia do DMM. A força de tração aplicada pela célula de carga, convertia o movimento das colunas vertebrais cervicais em flexão ou extensão conforme o posicionamento das mesmas no copo do dispositivo metálico maior (Figura 5).

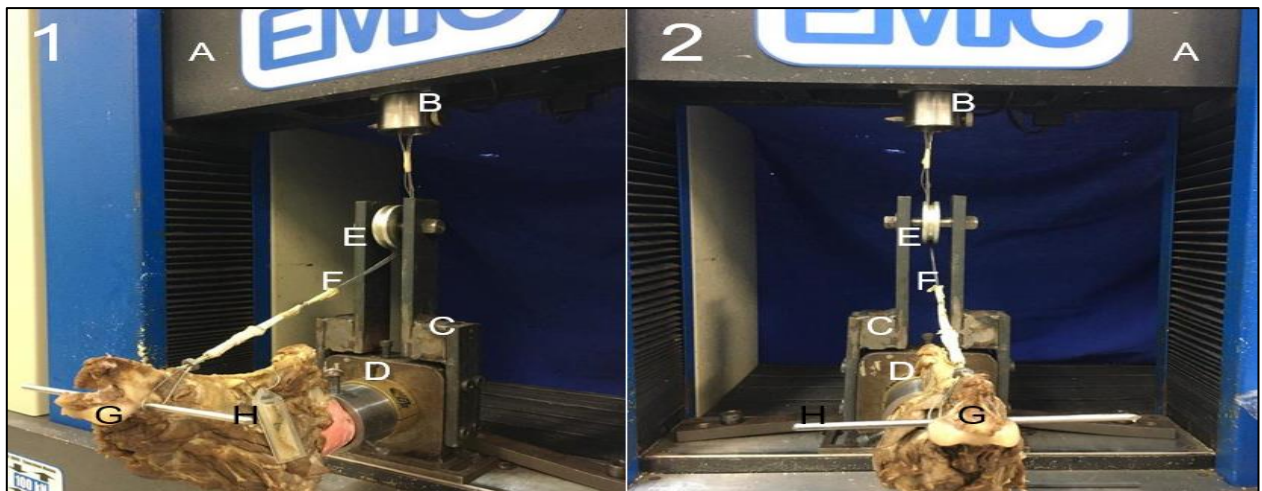


Figura 5. (1) Imagem fotográfica da coluna cervical tomada de forma oblíqua, fixada em diferentes dispositivos para ensaio mecânico de extensão. (A) Máquina Universal de Ensaio mecânicos, (B) dispositivo ligado à célula de carga, (C) dispositivo metálico maior (DMM), (D) copo metálico na base do DMM, (E) polia posicionada perto da superfície do DMM, (F) dispositivo metálico fino, (G) vertebra C2, (H) pino de Steinmann de 5 mm colocado nos orifícios perpendiculares ao canal medular. (2) Imagem fotográfica tomada em projeção crânio caudal mostrando as mesmas partes e com as mesmas letras do que a imagem 1.

4.5.2 Ensaios mecânicos de flexão ventral e extensão

Os ensaios mecânicos de flexão ventral e extensão foram realizados na Máquina Universal de Ensaio (MUE) EMIC®, modelo DL10000 (São José dos Pinhais, PR), do Laboratório de Bioengenharia da FMRP/USP. Para a realização dos ensaios foi utilizada a célula de carga com capacidade de 200 quilograma-força (kgf), com velocidade de aplicação da carga de 20 mm/min e pré-carga de 20 Newtons (N). Cada espécime foi submetido ao ciclo completo de flexão ventral ou extensão até a falha. O programa TESC®, acoplado à máquina universal de ensaios confeccionou as curvas de Força em N *versus* ADM em mm. As propriedades mecânicas avaliadas foram a resistência e a ADM das colunas vertebrais cervicais.

4.6 Delineamento experimental e análise estatística

Os dados da força máxima e ADM durante a flexão ventral e extensão foram analisados como delineamento inteiramente casualizado em um arranjo fatorial (A x B). Considerando como efeitos fixos o fator A (graus de liberdade (GL), (GL 1) que corresponde ao uso ou não da laminectomia, o fator B correspondente ao ensaio mecânico realizado: extensão ou flexão (GL 1), e a interação dos fatores A e B (GL 1). O modelo incluiu os efeitos aleatórios do cadáver (GL 10) e os erros correspondentes ao modelo. Estas análises de variância (ANOVA) foram realizadas utilizando o Software R (versão 3.5.1) prévia comprovação dos supostos matemáticos (Teste de Shapiro-Wilk e Teste de Bartlett). O pós-teste Tukey foi aplicado quando a ANOVA indicasse diferença significativa para a comparação das médias, e a significância foi declarada a $p < 0,05$.

5. REFERÊNCIAS

Adamo PF, Kobayashi H, Markel M, Vanderby R Jr (2007) In vitro biomechanical comparison of cervical disk arthroplasty, ventral slot procedure, and smooth pins with polymethylmethacrylate fixation at treated and adjacent canine cervical motion units. **Vet Surg**, 36(8), 729-41.

Allen BL Jr, Tencer AF, Ferguson RL (1987) The biomechanics of decompressive laminectomy. **Spine (Phila Pa 1976)**, 12(8), 803-8.

Bonawandt KA, Berg JM, Joseph RJ, Stefanacci JD (2017) Intradural Dirofilaria in a Dog with Chronic Cervical Pain. **J Am Anim Hosp Assoc**, 53(1), 59-63.

Budras KD, McCarthy PH, Fricke W, Richter R, Horowitz A (2012) Coluna Vertebral e Tórax. In.: Budras, Klaus-Dieter et al. **Anatomia do Cão**. São Paulo: Manole Ltda, p. 8-9.

Dewey CW, Da Costa RC (2016) Mielopathies: disorders of the spinal cords. In.: **Practical guide to canine and feline neurology**. Iowa: 3rd. ed. John Wiley & sons, Inc, p. 329-403.

Fehlings, MG, Perrin RG (2006) The Timing of Surgical Intervention in the Treatment of Spinal Cord Injury: A Systematic Review of Recent Clinical Evidence. **Spine**, 31(11), 28-35.

Fernandes R, Fitzpatrick N, Rusbridge C, Rose J, Driver CJ (2019) Cervical vertebral malformations in 9 dogs: radiological findings, treatment options and outcomes. **Ir Vet J**, 72:2.

Fujioka T, Nakata K, Nishida H, Sugawara T, Konno N, Maeda S, Kamishina H (2019) A novel patient-specific drill guide template for stabilization of thoracolumbar vertebrae of dogs: cadaveric study and clinical cases. **Vet Surg**, 48(3), 336-342.

Funkquist B, Schantz B (1962) Influence of extensive laminectomy on the shape of the spinal canal. **Acta Orthop Scand Suppl**, 33(56), 1-50.

Gill PJ, Lippincott CL, Anderson SM (1996) Dorsal laminectomy in the treatment of cervical intervertebral disk disease in small dogs: a retrospective study of 30 cases. **J Am Anim Hosp Assoc**, 32(1), 77-80.

Healy AT, Lubelski D, West JL, Mageswaran P, Colbrunn R, Mroz TE (2016) Biomechanics of open-door laminoplasty with and without preservation of posterior structures. **J Neurosurg Spine**, 24(5), 746-751.

Hettlich BF, Allen MJ, Glucksman GS, Fosgate GT, Litsky AS (2014) Effect of an intervertebral disk spacer on stiffness after monocortical screw/polymethylmethacrylate fixation in simulated and cadaveric canine cervical vertebral columns. **Vet Surg**, 43(8), 988-94

Hettlich BF, Allen MJ, Pascetta D, Fosgate GT, Litsky AS (2013) Biomechanical comparison between bicortical pin and monocortical screw/polymethylmethacrylate constructs in the cadaveric canine cervical vertebral column. **Vet Surg**, 42(6), 693-700.

Hicks DG, Pitts MJ, Bagley RS, Vasavada A, Chen AV, Wininger FA, Simon JC (2009) In vitro biomechanical evaluations of screw-bar-polymethylmethacrylate and pin-polymethylmethacrylate internal fixation implants used to stabilize the vertebral motion unit of the fourth and fifth cervical vertebrae in vertebral column specimens from dogs. **Am J Vet Res**, 70(6), 719-726.

Hwang YH, Lee HC, Lee JH (2016) Operative Techniques and Preliminary Outcomes Following Percutaneous Endoscopic Thoracolumbar Pediclectomy in Dogs. **Vet Surg**, 45(1), 084-094.

Ishida Y, Suzuki K, Ohmori K, Kikata Y, Hattori Y (1989) Critical analysis of extensive cervical laminectomy. **Neurosurgery**, 24(2), 215–22.

Kode S, Gandhi AA, Fredericks DC, Grosland NM, Smucker JD (2012) Effect of Multilevel Open-Door Laminoplasty and Laminectomy on Flexibility of the Cervical Spine. **Spine (Phila Pa 1976)**, 37(19), 1165-1170.

Kosuke H, Hitoshi M, Kyohei K, Rina T, Tomoko K, Motoji M (2016) Retrospective Study of Dorsal Laminectomy for Multiple Cervical Intervertebral Disk Disease in Small Dogs. **Japanese Journal of Veterinary Anesthesia & Surgery**, 47(2), 21-26.

Kubo S, Goel VK, Yang SJ, Tajima N (2003) Biomechanical evaluation of cervical double-door laminoplasty using hydroxyapatite spacer. **Spine (Phila Pa 1976)**, 28(3), 227-234.

LaRocca H, Macnab I (1974) The laminectomy membrane: studies in its evolution, characteristics, effects, and prophylaxis in dogs. **J Bone Joint Surg**, 56(3), 545– 50.

Lee S, Jung SK, Kim HB, Roh SW, Jeon SR, Park JH (2020) Postoperative Non-Pathological Fever Following Posterior Cervical Fusion Surgery : Is Laminoplasty a Better Preventive Method than Laminectomy?. **J Korean Neurosurg Soc**, Mar 5.

Lewchalermwong P, Suwanna N1, Meij BP (2018) Canine Vertebral Screw and Rod Fixation System: Design and Mechanical Testing. **Vet Comp Orthop Traumatol**, 31(2), 95-101.

Mauler DA, De Decker S, De Risio L, Volk HA, Dennis R, Gielen I, Van der Vekens E, Goethals K, Van Ham L (2017) Spinal Arachnoid Diverticula: Outcome in 96 Medically or Surgically Treated Dogs. **J Vet Intern Med**, 31(3), 849-853.

McAllister BD, Rebholz BJ, Wang JC (2012) Is posterior fusion necessary with laminectomy in the cervical spine?. **Surg Neurol Int**, 3(3), 225-231.

Santini G, Mazzanti A, Beckmann DV, Santos RP, Pelizzari C, Polidoro D, Baumhardt R (2010) Doença do disco intervertebral cervical em cães: 28 casos (2003-2008). **Pesq. Vet. Bras**, 30(8), 659-664.

Scott H, Shihab N, Raimondi F (2013) Canine wobbler syndrome study. **Vet Rec**, 173(17), 428.

Sembenelli G, Wittmaack, MCN, Oliveira L, Moraes PC, Minto BW, Dias LGGG (2016) Cervical Laminectomy for the Treatment of Chronic Caudal Cervical Spondylomyelopathy in a Dog. **Acta Scientiae Veterinariae**, 44(1), 156.

Shores A, Brisson BA (2017) Dorsal laminectomy in the thoracolumbar region. In.: **Current techniques in canine and feline neurosurgery**. New Jersey: Wiley and Sons, inc, p. 206-207.

Shimizu T, Otsuki B, Fujibayashi S, Takemoto M, Ito H, Sakamoto T, Adachi T, Matsuda S (2016) Spontaneous anterior arch fracture of the atlas following C1 laminectomy without fusion: A report of three cases and finite element analysis. **J Orthop Sci**, 21(3), 306-15.

Smith TJ, Fitzpatrick N (2009) Surgical removal of a microchip from a puppy's spinal canal. **Vet Comp Orthop Traumatol**, 22(1), 63-5.

Stigen Ø1, Ottesen N, Gamlem H, Åkesson CP (2011) Cervical chondroid chordoma in a standard dachshund: a case report. **Acta Vet Scand**, 53(1), 55.

Subramaniam V, Chamberlain RH, Theodore N, Baek S, Safavi-Abbasi S, Senoğlu M, Sonntag VK, Crawford NR (2009) Biomechanical effects of laminoplasty versus laminectomy: stenosis and stability. **Spine (Phila Pa 1976)**, 34(16), 573-578.

Taylor-Brown FE, Cardy TJ, Liebel FX, Garosi L, Kenny PJ, Volk HA, De Decker S (2015) Risk factors for early post-operative neurological deterioration in dogs undergoing a cervical dorsal laminectomy or hemilaminectomy. **Vet J**, 206(3), 327-31.

Trotter EJ (2009) Cervical spine locking plate fixation for treatment of cervical spondylotic myelopathy in large breed dogs. **Vet Surg**, 38(6), 705-18.

Tuan J, Solano MA, Fitzpatrick N (2019) Ventral distraction-stabilization in 5 continuous sites for the treatment of cervical spondylomyelopathy in a Great Dane. **Vet Surg**, 48(4), 607-614.

Xie T, Qian J, Lu Y, Chen B, Jiang Y, Luo C (2013) Biomechanical comparison of laminectomy, hemilaminectomy and a new minimally invasive approach in the surgical treatment of multilevel cervical intradural tumour: a finite element analysis. **Eur Spine J**, 22(12), 2719-30.

Yoshii T, Egawa S, Chikuda H, Wakao N, Furuya T, Kanchiku T, Nagoshi N, Fujiwara Y, Yoshida M, Taguchi T, Watanabe M (2020) A systematic review and meta-analysis comparing anterior decompression with fusion and posterior laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy. **J Orthop Sci**, Mar 20, article in press.

Zanasi R, Fioretta G, Rotolo F, et al (1984) Open door operation to raise the vertebral arch in myelopathy due to cervical spondylosis. **Ital J Orthop Trauma**, 10(1), 21–30.

Züger L, Fadda A, Oevermann A, Forterre F, Vandeveld M, Henke D (2018) Differences in Epidural Pathology between Cervical and Thoracolumbar Intervertebral Disk Extrusions in Dogs. **J Vet Intern Med**, 32(1), 305–313.

CAPÍTULO 2 – Artigo científico nas normas da revista Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology

ANÁLISE BIOMECÂNICA DA LAMINECTOMIA DORSAL FUNKQUIST B ENTRE AS VÉRTEBRAS CERVICAIS 6 E 7 EM CÃES.

BIOMECHANICAL ANALYSIS OF C6-C7 FUNKQUIST B DORSAL LAMINECTOMY IN DOGS.

Julián A. S. Galíndez¹. Bruno W. Minto¹. Paulo V. T. Marinho¹. Adrielly Dissenha¹. Dayvid V. F. Lucena¹. Vinícius S. V. Dias². Luís G. G. G. Dias¹.

¹Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Jaboticabal, São Paulo, Brasil. [*julianandres891112@gmail.com](mailto:julianandres891112@gmail.com)

²Setor de imagem da Clínica veterinária Animais de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil.

Resumo

Objetivo: O objetivo deste estudo foi avaliar a resistência e a amplitude de movimento (ADM) de colunas vertebrais cervicais (CVCs) de cadáveres caninos submetidos à laminectomia Funkquist B entre as vértebras cervicais seis e sete (C6-C7).

Materiais e métodos: Quarenta e quatro colunas vertebrais cervicais (C2-T1) de cães de porte grande com um peso médio de $(26,2 \pm 3,8 \text{ kg})$ e esqueleticamente maduros foram selecionadas mediante radiografia e tomografia computadorizada. Foi avaliada a resistência mediante a aplicação de força em Newtons (N) e a ADM em milímetros (mm) desde C2 até C7 de um grupo controle (controle flexão) e de um grupo com laminectomia (laminectomia flexão) em flexão ventral. Posteriormente, foram avaliadas a resistência e a ADM de um grupo controle (controle extensão) e de um grupo com laminectomia (laminectomia extensão) em extensão usando teste mecânico destrutivo de ciclo único em 2 pontos. Os resultados numéricos de força máxima para medir a resistência, e a ADM das colunas dos dois grupos controle e dos dois grupos laminectomia foram comparados entre si.

Resultados: Os grupos com laminectomia apresentaram valores menores de força máxima independente do teste mecânico realizado ($P < 0,001$). A ADM não foi influenciada pela realização da laminectomia, o tipo de ensaio mecânico (flexão ventral ou extensão) ou a sua interação ($P < 0,05$). Não houve interação entre o efeito do fator laminectomia *sim ou não* (EFLM) nem no efeito do ensaio mecânico flexão ventral ou extensão (EM_{fe}) ($P < 0,05$).

Conclusão: A laminectomia cervical dorsal funkquist B entre C6-C7 diminui a resistência mecânica com uma força de carga suprafisiológica, mas não altera a ADM podendo ser utilizada sem necessidade de estabilização mecânica em cães de grande porte.

Palavras chave: biomecânica, cão, instabilidade vertebral, descompressão dorsal.

Abstract

Objective: The aim of this study was to evaluate the resistance and range of motion (ROM) of cervical spine columns (CSCs) of canine cadavers submitted to Funkquist B laminectomy between cervical vertebrae six and seven (C6-C7).

Materials and methods: Forty-four cervical spine columns (C2-T1) of large dogs with an average weight of (26.2 ± 3.8 kg) and skeletally mature were selected using radiography and computed tomography. Resistance was evaluated by applying load in Newtons (N) and the ADM in millimeters (mm) from C2 to C7 in a control group (flexion control) and in a group with laminectomy (flexion laminectomy) in ventral flexion. Subsequently, resistance and ROM were evaluated in a control group (extension control) and in a group with laminectomy (extension laminectomy) in extension using a single-point destructive mechanical test at 2 points. The numerical results of maximum load to measure the resistance, and the ROM of the columns of the two control groups and of the two laminectomy groups were compared with each other.

Results: The groups with laminectomy showed lower values of maximum load regardless of the mechanical test performed ($P < 0.001$). ADM was not influenced by the laminectomy, the type of mechanical test (ventral flexion or extension) or its interaction ($P < 0.05$). There was no interaction

between the effect of the laminectomy factor yes or no (EFLM) or the effect of the mechanical test on ventral flexion or extension (EMfe) ($P < 0.05$).

Conclusion: Funkquist B dorsal cervical laminectomy between C6-C7 decreases mechanical resistance with a supraphysiological loading force, but does not alter the ROM and can be used without mechanical stabilization in large dogs.

Keywords: biomechanics, dog, vertebral instability, dorsal decompression.

Introdução

As afecções da coluna vertebral e medula espinhal apresentam grande potencial para incapacitação física permanente de animais de companhia, representando alta incidência de casos na maioria dos centros de referência veterinária.^{1,2}

A laminectomia dorsal (LM) foi citada há mais de cinco décadas e é realizada rotineiramente para o tratamento de síndromes que causam compressão ou estenose do canal medular.^{3,4} É particularmente utilizada em condições compressivas, únicas ou múltiplas, que afetam as porções dorsais, laterais e até ventrais do canal medular e da medula espinhal, a despeito de técnicas menos invasivas como a hemilaminectomia e pediclectomia. Apresenta baixa morbidade, bom prognóstico e recuperação na maioria dos casos, pois descomprime grande porção de canal vertebral e medula espinhal.^{5,6,7,8,9}

Dentre as complicações pós-operatórias relacionadas à laminectomia dorsal, a instabilidade merece destaque, especialmente pelo fato de não se ter ainda completo entendimento sobre a necessidade de estabilização cirúrgica complementar em cães após uma ou múltiplas laminectomias na região cervical. Diferentes estudos experimentais da coluna cervical em humanos e simulações utilizando o método dos elementos finitos, têm demonstrado que a laminectomia produz instabilidade biomecânica consistente, determinando em muitos casos a necessidade de estabilização ou a aplicação de técnicas cirúrgicas que não produzam instabilidade biomecânica importante para mitigar ou evitar alterações clínicas.^{10,11,12,13,14,15,16}

Kosuke e colaboradores 2016, reportaram o uso da laminectomia em dois ou mais espaços intervertebrais sem estabilização em 90 cães de raças pequenas (até 10 kg) mostrando que todos (100%) os animais operados voltaram a deambular entre um e vinte dias após a cirurgia⁶. Outros autores relatam o uso de diferentes tipos de implantes para estabilização da coluna vertebral cervical após o uso da laminectomia, pois acreditam que por esta causar instabilidade em humanos, o mesmo poderia acontecer em cães.¹⁷ Além disso, piora clínica pós-operatória, que varia entre 54 a 70%, tem sido relatada em cães submetidos a técnicas de laminectomia ou hemilaminectomia cervical, motivos estes ainda não elucidados, mas que podem estar relacionados com manipulação medular, hipoperfusão medular e/ou instabilidade pós operatória.^{7,27}

Diante da necessidade de melhor entendimento sobre os efeitos da LM na estabilidade pós-operatória das colunas vertebrais cervicais o presente trabalho objetivou avaliar os efeitos da LM dorsal na estabilidade dos segmentos vertebrais C6 e C7.

Materiais e métodos

Preparação das colunas vertebrais cervicais

O estudo foi aprovado pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista, UNESP/Jaboticabal, Brasil (Protocolo: 008456/18).

Foram utilizadas 44 colunas cervicais (C2-T1) de cães entre 2 a 10 anos de idade, machos ou fêmeas, com peso que oscilava entre 20 e 30 kg (média de 26,2 kg) e dimensões semelhante, sem alterações neuroanatômicas ou musculoesqueléticas.

Todos os espécimes foram radiografados (Digital Radiography Equipment; Siemens RG150/100gl, Munique – Alemanha, Germany) em projeções laterais e dorsoventrais e submetidos à tomografia computadorizada (GE hispeed FXI helicoidal 4 canais) como meio de identificar alterações preexistentes. Colunas vertebrais de cães imaturos (com presença de placa de

crescimento abertas), aquelas com uma ou mais alterações radiográficas / tomográficas aparentes, ou com densidade óssea alterada, não foram incluídas no estudo.

A superfície óssea de C2 e o corpo vertebral de C7 e T1 foram tratados mediante exérese de tecido mole paravertebral, porém mantendo-se a musculatura epaxial e preservando-se os ligamentos espinhais e cápsulas articulares intactas das demais vértebras. Para a fixação dos espécimes C2-T1 foram utilizados pinos de Steinmann de 2 mm e polimetilmetacrilato (PMMA). Um pino foi colocado no centro do corpo vertebral de C7 e outro no centro do corpo de T1, paralelos entre si e perpendiculares ao canal medular vertebral por meio de uma furadeira de baixa rotação da marca Stryker® (System CD3) e cortados com uma cisalha deixando-se 10 mm de pino remanescentes nas laterais (figura 1).

O polimetilmetacrilado (PMMA), preparado a partir de 80 g de polímero (pó) e 40 mL de monômero (líquido), foi misturado numa cuba de aço inox e aplicado após alinhamento da coluna e colocação do molde em T1 (sem preencher o processo espinhoso) e no corpo vertebral de C7 até completa polimerização (figura 1). Na região lateral do forame transversal esquerdo e posteriormente do direito de C2, foi realizado um orifício perpendicular ao canal medular com broca de aço inox de 5 mm para posterior colocação de pino de Steinmann (5 mm) na hora de colocar o dispositivo metálico fino na máquina universal de ensaios mecânicos. Os espécimes foram armazenados em toalhas umedecidas com solução salina fisiológica estéril 0,9% e posteriormente congelados e mantidos a uma temperatura de -20°C até o dia da laminectomia e testes mecânicos.

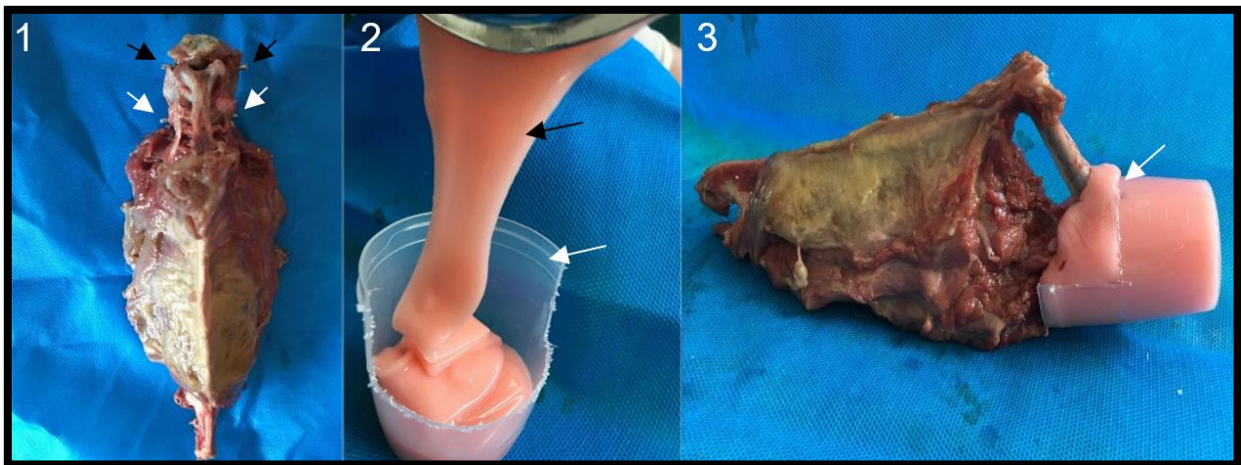


Figura. 1 (1) Imagem fotográfica de uma coluna cervical preparada para aplicar o PMMA; as setas pretas indicam as pontas do pino que foi colocado transversalmente ao corpo vertebral de T1, as setas brancas indicam as pontas do pino que foi colocado transversalmente ao corpo vertebral de C7. (2) Imagem fotográfica mostrando o PMMA (seta preta) ingressando ao molde (seta branca). (3) Imagem fotográfica mostrando o PMMA (seta branca) fixado sobre a região caudal da coluna cervical (corpos vertebrais de C7-T1).

Uma laminectomia Funkquist B entre C6 e C7 foi realizada nos espécimes de acordo com a técnica descrita por Funkquist e Schantz.¹⁸ Foram removidos os processos espinhosos C6-C7 e aproximadamente 66% do comprimento das laminais dorsais de C6 e C7, mantendo-se as facetas articulares, caudais e craniais, intactas.

Grupos experimentais

As 44 colunas cervicais foram distribuídas aleatoriamente em 4 grupos experimentais (n=11): Grupo controle flexão ventral (controle flexão) composto de colunas cervicais não tratadas, para ensaio mecânico de flexão ventral; Grupo controle extensão (controle extensão) com colunas cervicais não tratadas, para ensaio mecânico de extensão; Grupo com laminectomia para ensaio de flexão ventral (controle laminectomia) com colunas cervicais tratadas com laminectomia ao nível

de C6-C7, para ensaio mecânico de flexão ventral; e Grupo com laminectomia para ensaio de extensão (controle extensão) com colunas cervicais tratadas com laminectomia ao nível de C6-C7, para ensaio mecânico de extensão.

Avaliação biomecânica

Protocolo de fixação na máquina universal de ensaios

Um dispositivo metálico maior munido de um copo na sua base e uma polia próximo à sua superfície, foi posicionado no eixo axial da célula de carga sem ligação a esta. Um dispositivo metálico fino (DMF) fabricado com arame de aço inox AISI-304L e formatado com uma asa em uma extremidade e duas asas na outra extremidade também foi utilizado. Estes dois dispositivos foram fabricados para posicionar as CVCs. Para a montagem da região caudal (que continha o PMMA) das colunas vertebrais cervicais no copo metálico do dispositivo metálico maior, três parafusos foram colocados para sua fixação. Na região cranial, um pino de Steinmann de 5 mm foi colocado nos orifícios realizados previamente nos forames transversos de C2; posteriormente, as duas asas da extremidade do dispositivo metálico fino foram colocadas em cada porção lateral do pino. A outra extremidade do dispositivo metálico fino foi colocado diretamente em outro dispositivo metálico que estava ligado à célula de carga, após ter passado pela base da polia do DMM. A força de tração aplicada pela célula de carga, convertia o movimento das colunas vertebrais cervicais em flexão ou extensão conforme o posicionamento das mesmas no copo do dispositivo metálico maior (figura 2).

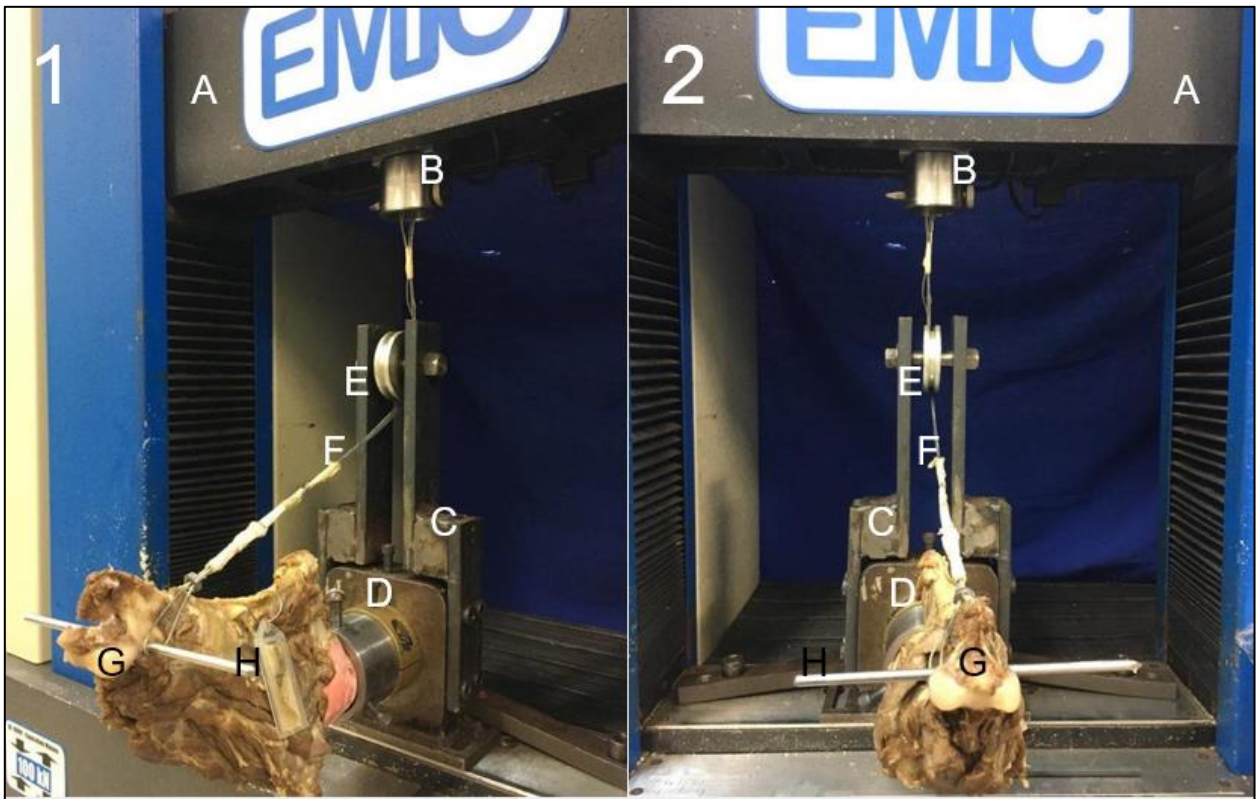


Figura. 2 (1) Imagem fotográfica da coluna cervical tomada de forma oblíqua, posicionada e fixada em diferentes dispositivos para ensaio mecânico de extensão. (A) Máquina Universal de Ensaio mecânicos, (B) dispositivo ligado à célula de carga, (C) dispositivo metálico maior, (D) copo metálico na base do dispositivo metálico maior, (E) polia posicionada perto da superfície do dispositivo metálico maior, (F) dispositivo metálico fino, (G) vertebra C2, (H) pino de Steinmann de 5 mm colocado nos orifícios feitos sobre os forâmens transversos de C2. (2) Imagem fotográfica tomada em projeção crânio caudal mostrando as mesmas partes e com as mesmas letras do que a imagem 1.

Ensaio mecânicos de flexão ventral e extensão

Os ensaios mecânicos de flexão ventral e extensão foram realizados na Máquina Universal de Ensaio (MUE) EMIC®, modelo DL10000 (São José dos Pinhais, PR), do Laboratório de Bioengenharia da FMRP/USP. Para a realização dos ensaios foi utilizada a célula de carga com capacidade de 200 quilograma-força (kgf), com velocidade de aplicação da carga de 20 mm/min e

pré-carga de 20 Newtons (N). Cada espécime foi submetido a ciclo completo de flexão ventral ou extensão até a falha. O programa TESC®, acoplado à máquina universal de ensaios confeccionou as curvas de Força em N *versus* ADM em mm. As propriedades mecânicas avaliadas foram a resistência e a ADM das colunas vertebrais cervicais.

Analise estatística

Os dados da força máxima e ADM durante a flexão ventral e extensão foram analisados como delineamento inteiramente casualizado em um arranjo fatorial (A x B). Considerando como efeitos fixos o fator A (graus de liberdade (GL), GL 1) que corresponde ao uso ou não da laminectomia, o fator B correspondente ao ensaio mecânico realizado: extensão ou flexão (GL 1), e a interação dos fatores A e B (GL 1). O modelo incluiu os efeitos aleatórios do cadáver (GL 10) e os erros correspondentes ao modelo. Estas análises de variância (ANOVA) foram realizadas utilizando o Software R (versão 3.5.1) prévia comprovação dos supostos matemáticos (Teste de Shapiro-Wilk e Teste de Bartlett). O pós-teste Tukey foi aplicado quando a ANOVA indicasse diferença significativa para a comparação das médias, e a significância foi declarada a $P < 0,05$.

Resultados

Os valores de força máxima em Newton e ADM em mm para cada uma das colunas intactas e das colunas com laminectomia:

Tabela 1. Valores médios de força máxima (FM) e amplitude de movimento (ADM) para os 4 grupos após ensaios mecânicos de flexão e extensão.

	Controle flexão	Laminectomia flexão	Controle extensão	Laminectomia extensão
FM	249,7 N	118,7 N	197,1 N	131,7 N
ADM	94,80 mm	82,42 mm	88,17 mm	88,99 mm

As curvas de deformação que mostra a ADM também foram desenhadas para cada grupo (figura 3).

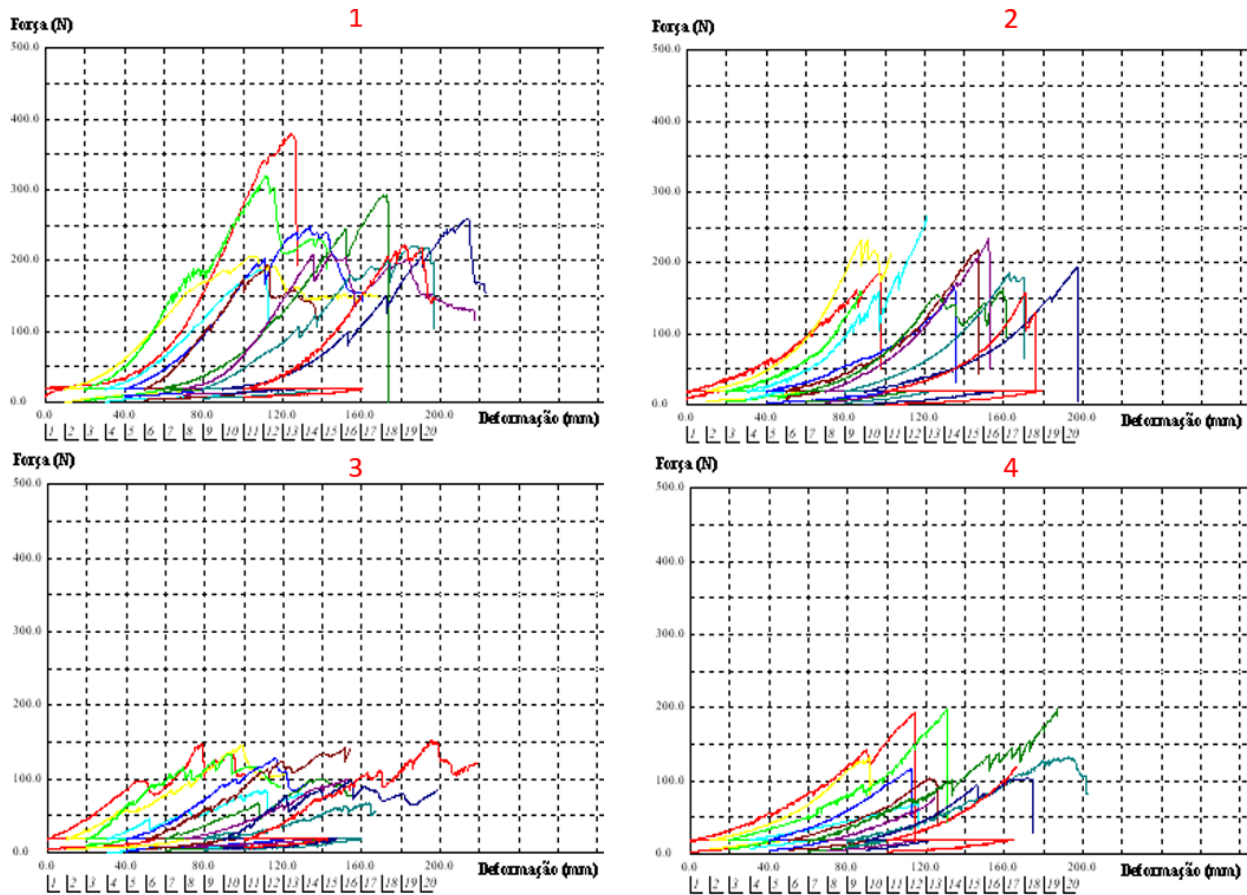


Figura 3. Imagem mostrando as curvas e a força em Newton (N) aplicada até a deformação em milímetros (mm) de cada corpo de prova testado. (1) controle flexão. (2) controle extensão. (3) laminectomia flexão. (4) laminectomia extensão.

Os grupos com laminectomia apresentaram valores menores de resistência aplicando força em N independente do ensaio mecânico realizado ($P < 0,001$) (Tabela 2 e Figura 4); sendo as médias para colunas cervicais com laminectomia entre C6-C7; 125,18 N e para colunas cervicais sem laminectomia; 230,76 N.

Não houve interação entre o efeito do fator laminectomia *sim ou não* e entre o efeito do ensaio mecânico flexão ventral ou extensão para as variáveis avaliadas ($P > 0,05$) (Tabela 1). A ADM não foi influenciada pela realização da laminectomia, o ensaio mecânico ou a sua interação ($P > 0,05$),

apesar de numericamente o grupo de colunas cervicais sem laminectomia para ensaio mecânico de flexão apresentasse maiores valores ($94,80 \pm 19,91$ mm versus $82,42 \pm 10,26$ mm).

Tabela 2. Média $\pm$ desvio padrão da força máxima (FM) e amplitude de movimento (ADM) durante ensaios mecânicos de flexão e extensão em colunas cervicais com ou sem laminectomia.

	Grupos				p-valor		
	Controle flexão	Laminectomia flexão	Controle extensão	Laminectomia extensão	EFLM	EM _{fe}	EFLM vs EM _{fe}
FM (N)	249,69 $\pm$ 59,38	118,67 $\pm$ 29,16	211,84 $\pm$ 48,06	131,69 $\pm$ 46,35	<0,001	0,467	0,142
ADM (mm)	94,80 $\pm$ 19,91	82,42 $\pm$ 10,26	83,62 $\pm$ 13,27	88,98 $\pm$ 23,40	0,599	0,729	0,188

Controle flexão = Colunas cervicais controle para ensaio mecânico de flexão ventral, Laminectomia flexão= Colunas cervicais com laminectomia ao nível de C6-C7 para ensaio mecânico de flexão ventral. Controle extensão= Colunas cervicais controle para ensaio mecânico de extensão, Laminectomia extensão = Colunas cervicais com laminectomia ao nível de C6-C7 para ensaio mecânico de extensão, EFLM = efeito do fator laminectomia sim ou não, EM_{fe} = efeito do ensaio mecânico flexão ventral ou extensão.

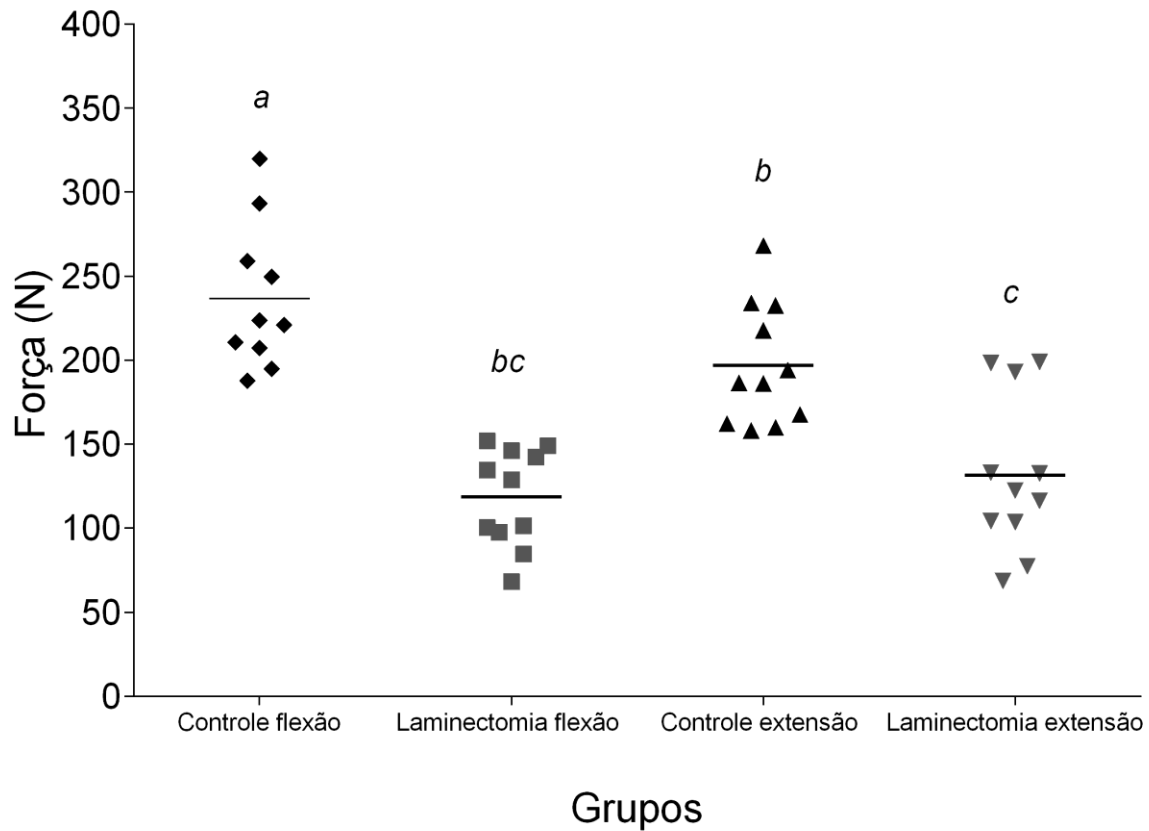


Figura 5. Distribuição dos grupos e a força máxima (FM) em Newton (N) suportada durante os diferentes ensaios mecânicos nos 4 grupos. Ensaio mecânico de flexão ventral em colunas cervicais controle (controle flexão), ensaio mecânico de flexão ventral em colunas cervicais com laminectomia em C6-C7 (laminectomia flexão), ensaio mecânico de extensão em colunas cervicais controle (controle extensão) e ensaio mecânico de extensão em colunas cervicais com laminectomia em C6-C7 (laminectomia extensão).

Discussão

Com base na notável necessidade de informações adicionais sobre os efeitos mecânicos das laminectomias dorsais na estabilidade da coluna cervical, este estudo objetivou investigar como a laminectomia Funkquist B poderia alterar o padrão de movimento da coluna cervical de cães. Nossos resultados mostraram que não houve influência significativa da amplitude de movimento após a laminectomia, validando a hipótese inicial. Sugere-se ainda que a remoção limitada da

lâmina vertebral e a integridade de ligamentos interespinhosos, ligamento amarelo e processos espinhosos entre as vértebras C6 e C7 possam manter a integridade espacial da coluna vertebral cervical.

Diversas afecções vertebro-medulares cervicais necessitam de procedimentos cirúrgicos de descompressão e / ou acesso ao canal vertebral, tais como a fenda ventral, laminectomia dorsal, hemileminectomia e procedimentos de distração-fusão, ou alguma combinação destes.²¹ Técnicas descompressivas podem trazer consigo diminuição da estabilidade da unidade vertebral funcional^{22,23,24} e, isso foi demonstrado em cirurgias de acesso ventral, como a fenestração de disco e fenda ventral.²⁵ Por outro lado, apenas dois estudos abordaram fatores de risco associados à técnicas de descompressão dorsal ou dorsolateral cervical em cães.^{20,7} Nestes estudos, tais técnicas determinaram maior risco de deterioração neurológica sendo a instabilidade pós-cirúrgica uma das hipóteses sugeridas, apesar da ausência de estudo biomecânicos.

Surpreendentemente, estudos biomecânicos envolvendo laminectomia cervical são escassos na literatura veterinária. Cristo e colaboradores²⁶, não referem aumento significativo da amplitude de movimento após seis meses da laminectomia dorsal em cães. No presente estudo, a despeito das particularidades metodológicas, a laminectomia dorsal também não aumentou a ADM em flexão e extensão em ciclo único nas condições estudadas. Quando comparamos esses resultados com outras técnicas de descompressão cervical, observa-se que a facetectomia unilateral e bilateral²⁷ e os procedimentos de fenda ventral diminuem a estabilidade da unidade vertebral funcional. Isso se deve ao fato de que o disco intervertebral e as facetas articulares desempenham importante papel na estabilização vertebral em flexão-extensão e rotação axial, respectivamente.

^{22,23,24}

Estudos por elementos finitos e testes biomecânicos in vitro têm demonstrado que a laminectomia produz grande instabilidade em colunas cervicais quando comparadas com colunas intactas em humanos.^{11,12} Apesar da inexistência de estudos semelhantes em cães, possíveis alterações biomecânicas após a realização de uma laminectomia Funkquist B poderiam auxiliar nas justificativas de porquê muitos pacientes pioram no pós-operatório imediato após, e na avaliação da necessidade de estabilização complementar. S

Smith e Walter 1988 estudaram a biomecânica da coluna vertebral torácica (CVT) de cães e encontraram aumento da ADM e diminuição da força aplicada para produzir flexão ventral em 62% quando o ligamento interespinhoso entre a terceira e quarta vertebra torácica foi removido. Quando realizada laminectomia no mesmo espaço, aumenta-se a ADM e diminuiu-se a força aplicada para produzir flexão ventral em 75%. Independentemente das distinções metodológicas, a laminectomia dorsal realizada no presente estudo não aumentou significativamente a ADM, apesar da manutenção do ligamento interespinhoso.

Um estudo biomecânico *in vitro* na coluna lombossacra canina³⁰ mostrou que a laminectomia dorsal sozinha não teve efeito significativo sobre a rigidez da unidade de movimento lombossacral. Apesar das diferenças anatômicas entre a região cervical e a região lombossacra, a preservação das facetas articulares e dos discos intervertebrais, com remoção apenas do processo espinhoso, parte da lâmina, ligamento amarelo e dos ligamentos interespinhosos cervical, reforça a hipótese de que essas estruturas, na região cervical, possuem efeito secundário na estabilização à flexão e extensão. A preservação do ligamento nuchal na presente pesquisa, limitando de forma adjuvante movimentos exagerados de flexão ventral pode ter contribuído para a ausência de diferenças significativas entre os grupos laminectomia e controle.

Subramanian e colegas estudaram os efeitos mecânicos da laminectomia em colunas vertebrais cervicais de humanos e expuseram que a laminectomia aumenta significativamente a ADM comparada com colunas cervicais sem laminectomia tanto em flexão quanto em extensão e que a laminectomia liberou o canal medular numa área de $101\% \pm 4\%$ comparado com a laminoplastia que liberou o canal medular em $70\% \pm 12\%$ ¹⁶. Considerando estes resultados e a despeito de não ter sido escopo da presente pesquisa, sugere-se que a laminectomia possa ter favorecido a descompressão do canal medular. Outros trabalhos mostraram que após uma laminectomia em colunas humanas aplicando forças mecânicas de flexão/extensão a ADM aumentou em 36% em um estudo¹² e 21%¹⁹ em outro estudo. Xie e colegas 2013 em um estudo de elementos finitos, encontraram que a ADM de colunas cervicais humanas em flexão/extensão aumentou em 70% após laminectomia C3-C4, 62% após laminectomia C4-C5 e 60% após laminectomia C5-C6 comparado com o movimento da coluna vertebral intacta.¹¹ Estes trabalhos mostram que geralmente existe aumento da ADM após uma laminectomia num espaço

intervertebral cervical específico. No nosso trabalho não constatamos aumento na ADM em flexão/extensão, isso poderia ser explicado porque a laminectomia realizada foi menos invasiva (retirada de 66% de cada lamina vertebral) comparada com a laminectomia cervical humana mostrada em trabalhos científicos onde normalmente se retira 100% do comprimento da lâmina. No trabalho em tela o ligamento nuchal foi preservado, mantendo a função de proteção especialmente dos movimento de flexão, além disso em nossos testes mecânicos a força aplicada mimetizou a biomecânica e cinética que normalmente exerce a cabeça de um cão trazendo resultados mais realistas que podem ser comparados com a parte clínica. Apesar destes trabalhos ter aumentado a ADM, as colunas do trabalho em tela, deveriam ter maior ADM em mm denotando instabilidade mas esta não ocorreu, mostrando a grande diferença que existe entre a espécie humana e canina com uma técnica cirúrgica descompressiva.

Algumas limitações do presente estudo devem ser consideradas. Apesar dos resultados permitirem interpretação confiável, o número limitado de amostras por grupo determinou desvios padrão relativamente altos e pequenas diferenças. Adicionalmente, as fixações de origem e inserção das musculaturas não foram mantidas, entretanto a falta de musculatura *in vitro* não difere decisivamente dos resultados *in vivo*.³¹ Finalmente, os espécimes passaram por ciclos de congelamento e descongelamento, o que poderia ter alterado suas propriedades mecânicas. No entanto, estudos cadavéricos com colunas vertebrais de porcos e humanos mostraram que o armazenamento não influencia as propriedades mecânicas das amostras.^{32,33,34} As propriedades físicas mudam apenas no ciclo inicial de congelamento. Assim, acredita-se, hipoteticamente, que as colunas vertebrais caninas possam seguir a mesma característica.

Apesar da laminectomia funkquist B diminuir a resistência mecânica do segmento cervical C6-C7 comparado com modelos cervicais intactos, ela não altera a amplitude de movimento em flexão e extensão. Os processos espinhosos, lâmina dorsal parcial, ligamento interespinhoso e ligamento amarelo parecem ter papel secundário na estabilização vertebral cervical. Mas estudos *in vitro* ilustram apenas parcialmente as mudanças na estabilidade induzidas pela cirurgia. Vários estudos mostraram diminuição progressiva da instabilidade após a cirurgia, sugerindo que as propriedades biomecânicas da coluna cervical podem mudar ao longo do tempo.^{35,36} Os tratamentos da coluna cervical que reque rem laminectomia funkquist B, parece não necessitar estabilização

vertebral posterior à descompressão. Estudos clínicos em cães de porte grande devem ser realizados para ser comparados com estudos biomecânicos como este.

Agradecimentos

Os autores agradecem a CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo suporte financeiro.

Notas

Contribuições dos autores

Julián Andrés Sanjuán Galíndez contribuiu para a concepção do estudo, desenho, coleta de dados, análise de dados e interpretação. Bruno W. Minto, Paulo V. T. Marinho e Luís GGG Dias contribuíram para a concepção do estudo, desenho, análise de dados e interpretação. Adrielly Dissenha. Dayvid V. F. Lucena e Vinícius S. V. Dias contribuíram para a recollecção de dados do estudo. Bruno W. Minto, Paulo V. T. Marinho e Luís GGG redigiram e revisaram o trabalho submetido. Julián A. S. Galíndez e Bruno W. Minto redigiram, revisaram e aprovaram o trabalho submetido.

Conflito de interesses

Os autores declaram não ter conflito de interesses sobre este manuscrito.

Referências

- 1- Fujioka T, Nakata K, Nishida H, Sugawara T, Konno N, Maeda S, Kamishina H. A novel patient-specific drill guide template for stabilization of thoracolumbar vertebrae of dogs: cadaveric study and clinical cases. Vet Surg 2019; 48(3):336-342

- 2- Santini G, Mazzanti A, Beckmann DV, Santos RP, Pelizzari C, Polidoro D, Baumhardt R. Cervical intervertebral disk disease in dogs: 28 cases (2003-2008). *Pesq. Vet. Bras* 2010; 30(8):659-664
- 3- Allen BL Jr, Tencer AF, Ferguson RL. The biomechanics of decompressive laminectomy. *Spine (Phila Pa 1976)* 1987;12(8):803-8
- 4- Shimizu T, Otsuki B, Fujibayashi S, Takemoto M, Ito H, Sakamoto T, Adachi T, Matsuda S. Spontaneous anterior arch fracture of the atlas following C1 laminectomy without fusion: A report of three cases and finite element analysis. *J Orthop Sci* 2016; 21(3):306-15
- 5- Gill PJ, Lippincott CL, Anderson SM. Dorsal laminectomy in the treatment of cervical intervertebral disk disease in small dogs: a retrospective study of 30 cases. *J Am Anim Hosp Assoc* 1996; 32(1):77-80
- 6- Kosuke H, Hitoshi M, Kyohei K, Rina T, Tomoko K, Motoji M. Retrospective Study of Dorsal Laminectomy for Multiple Cervical Intervertebral Disk Disease in Small Dogs. *Japanese Journal of Veterinary Anesthesia & Surgery* 2016; 47(2):21-26
- 7- Taylor-Brown FE, Cardy TJ, Liebel FX, Garosi L, Kenny PJ, Volk HA, De Decker S. Risk factors for early post-operative neurological deterioration in dogs undergoing a cervical dorsal laminectomy or hemilaminectomy. *Vet J.* 2015; 206(3):327-31
- 8- Hwang YH, Lee HC, Lee JH. Operative Techniques and Preliminary Outcomes Following Percutaneous Endoscopic Thoracolumbar Pediculectomy in Dogs. *Vet Surg.* 2016;45(1):084-094
- 9- Lee S, Jung SK, Kim HB, Roh SW, Jeon SR, Park JH. Postoperative Non-Pathological Fever Following Posterior Cervical Fusion Surgery : Is Laminoplasty a Better Preventive Method than Laminectomy?. *J Korean Neurosurg Soc.* 2020 Mar 5
- 10- Kubo S, Goel VK, Yang SJ, Tajima N. Biomechanical evaluation of cervical double-door laminoplasty using hydroxyapatite spacer. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003; 28(3):227-234

- 11- Xie T, Qian J, Lu Y, Chen B, Jiang Y, Luo C. Biomechanical comparison of laminectomy, hemilaminectomy and a new minimally invasive approach in the surgical treatment of multilevel cervical intradural tumour: a finite element analysis. *Eur Spine J*. 2013; 22(12):2719-30
- 12- Healy AT, Lubelski D, West JL, Mageswaran P, Colbrunn R, Mroz TE. Biomechanics of open-door laminoplasty with and without preservation of posterior structures. *J Neurosurg Spine*. 2016; 24(5):746-751
- 13- Tuan J, Solano MA, Fitzpatrick N. Ventral distraction-stabilization in 5 continuous sites for the treatment of cervical spondylomyelopathy in a Great Dane. *Vet Surg*. 2019 ;48(4):607-614
- 14- Lewchalermwong P, Suwanna N1, Meij BP. Canine Vertebral Screw and Rod Fixation System: Design and Mechanical Testing. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2018; 31(2):95-101
- 15- Yoshii T, Egawa S, Chikuda H, Wakao N, Furuya T, Kanchiku T, Nagoshi N, Fujiwara Y, Yoshida M, Taguchi T, Watanabe M. A systematic review and meta-analysis comparing anterior decompression with fusion and posterior laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy. *J Orthop Sci*. 2020 Mar 20, article in press
- 16- Subramaniam V, Chamberlain RH, Theodore N, Baek S, Safavi-Abbasi S, Senoğlu M, Sonntag VK, Crawford NR. Biomechanical effects of laminoplasty versus laminectomy: stenosis and stability. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009; 34(16):573-578
- 17- Fernandes R, Fitzpatrick N, Rusbridge C, Rose J, Driver CJ. Cervical vertebral malformations in 9 dogs: radiological findings, treatment options and outcomes. *Ir Vet J*. 2019; 72:2
- 18- Funkquist B, Schantz B. Influence of extensive laminectomy on the shape of the spinal canal. *Acta Orthop Scand Suppl*. 1962; 33(56):1-50
- 19- Kode S, Gandhi AA, Fredericks DC, Grosland NM, Smucker JD. Effect of Multilevel Open-Door Laminoplasty and Laminectomy on Flexibility of the Cervical Spine. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012; 37(19):1165-1170

- 20- De Risio L, Muñana K, Murray M, Olby N, Sharp NJ, Cuddon P. Dorsal laminectomy for caudal cervical spondylomyelopathy: postoperative recovery and long-term follow-up in 20 dogs. *Vet Surg*. 2002; 31(5):418-27
- 21- Fossum, T. W., Dewey, C. W., Hayashi, K., Huntingford, J. L., MacPhail, C. M., Quandt, J.E., Radlinsky, M. G., Schulz, K. S., Willard, M. D and Yu-Speight, A. *Small Animal Surgery*. Elsevier. 2019; 5th ed: 1365-89
- 22- Koehler CL, Stover SM, LeCouteur RA, Schulz KS, Hawkins DA. Effect of a ventral slot procedure and of smooth or positive-profile threaded pins with polymethylmethacrylate fixation on intervertebral biomechanics at treated and adjacent canine cervical vertebral motion units. *Am J Vet Res* 2005; 66(04):678–687
- 23- Adamo PF, Kobayashi H, Markel M, Vanderby R Jr. In vitro biomechanical comparison of cervical disk arthroplasty, ventral slot procedure, and smooth pins with polymethylmethacrylate fixation at treated and adjacent canine cervical motion units. *Vet Surg* 2007;36(08):729–74
- 24- Macy NB, Les CM, Stover SM, Kass PH. Effect of disk fenestration on sagittal kinematics of the canine C5-C6 intervertebral space. *Vet Surg* 1999;28(03):171–179
- 25- Moissonnier P, Desquilbet L, Fitzpatrick D, Bernard F. Radiography and biomechanics of sixth and seventh cervical vertebrae segments after disc fenestration and after insertion of an intervertebral body spacer. A canine cadaveric study. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2014;27(01):54–61
- 26- Crisco JJ, Panjabi MM, Wang E, Price MA, Pelker RR. The injured canine cervical spine after six months of healing. An in vitro three-dimensional study. *Spine* 1990;15(10):1047–1052
- 27- Bösch N, Hofstetter M, Bürki A, Vidondo B, Davies F, Forterre F. Effect of Facetectomy on the Three-Dimensional Biomechanical Properties of the Fourth Canine Cervical Functional Spinal Unit: A Cadaveric Study. *Vet Comp Orthop Traumatol*. 2017 ;30(6):430-437
- 28- Provencher M, Habing A, Moore SA, Cook L, Phillips G, da Costa RC. Kinematic magnetic resonance imaging for evaluation of disc-associated cervical spondylomyelopathy in Doberman pinschers. *J Vet Intern Med* 2016; 30(04):1121–1128

- 29- Ramos RM, da Costa RC, Oliveira AL, KodigudlaMK, Goel VK. Effects of flexion and extension on the diameter of the caudal cervical vertebral canal in dogs. *Vet Surg* 2015;44(04):459–466
- 30- Meij BP, Suwankong N, Van der Veen AJ, Hazewinkel HA. Biomechanical flexion-extension forces in normal canine lumbosacral cadaver specimens before and after dorsal laminectomy-discectomy and pedicle screw-rod fixation. *Vet Surg.* 2007; 36(8):742-51
- 31- Panjabi MM, Crisco JJ, Vasavada A, et al. Mechanical properties of the human cervical spine as shown by three-dimensional load-displacement curves. *Spine* 2001; 26(24):2692–2700
- 32- Hongo M, Gay RE, Hsu JT, et al. Effect of multiple freeze-thaw cycles on intervertebral dynamic motion characteristics in the porcine lumbar spine. *J Biomech* 2008;41(04):916–920
- 33- Dhillon N, Bass EC, Lotz JC. Effect of frozen storage on the creep behavior of human intervertebral discs. *Spine* 2001;26(08):883–888
- 34- Panjabi MM, Krag M, Summers D, Videman T. Biomechanical time-tolerance of fresh cadaveric human spine specimens. *J Orthop Res* 1985;3(03):292–300
- 35- Büff HU, Panjabi MM, Sonu CM, Crisco JJ, Oxland TR, Pelker RR. Functional stability of the canine cervical spine after injury. A three-month in vivo study. *Spine* 1990;15(10):1040–1046
- 36- Ng HW, Teo EC, Lee KK, Qiu TX. Finite element analysis of cervical spinal instability under physiologic loading. *J Spinal Disord Tech* 2003;16(01):55–65

CAPÍTULO 3 – Considerações finais

1. Limitações do estudo

Pequena quantidade de amostras porém não conseguimos fazer testes mecânicos aplicando força de flexão lateral esquerda e direita e força de rotação axial até a destruição da coluna vertebral. Os músculos que estabilizam a coluna vertebral cervical não foram considerados e eles podem exercer uma estabilização espinhal significativa. Não fizemos tomografia e ressonância magnética das colunas vertebrais cervicais após os testes mecânicos. Estes exames poderiam identificar diferentes lesões específicas de ligamentos, vertebbras, tendões, discos intervertebrais e processos articulares. As colunas vertebrais cervicais passaram por fases de congelamento e descongelamento o que pode ter afetado suas propriedades mecânicas.

2. Conclusões

Apesar que os estudos em humanos demonstrem que a ADM é afetada em grande forma pela laminectomia cervical dorsal, nos encontramos que está alteração não é estatisticamente significativa em colunas vertebrais cervicais caninas com laminectomia Funkquist B entre C6-C7. Com base nestes resultados conclui-se que a laminectomia Funkquist B pode ser realizada sem necessidade de estabilização mecânica. Estudos clínicos futuros em cães de porte grande devem ser realizados para ser comparados com estudos biomecânicos como este.

3. Perspectivas futuras

A biomecânica da laminectomia cervical apresentada no trabalho em tela, deu apenas seus primeiros passos, com uma demonstração de aplicação de força de flexão/extensão

até a destruição, existem muitas melhorias e modificações a fazer, principalmente na perspectiva de avaliar colunas vertebrais cervicais com outros tipos de laminectomia, avaliar estas colunas aplicando ensaios não destrutivos, pois com este trabalho já temos informação sobre a resistência mecânica de uma coluna cervical de cães grandes, avaliar colunas com laminectomia aplicando forças de flexão lateral e rotação axial e levar em consideração a musculatura cervical e os processos congelamento e descongelamento que poderiam alterar as colunas vertebrais cervicais.