LEONARDO OLIVEIRA DE CASTRO PRADO

Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal

São Paulo

2019

LEONARDO OLIVEIRA DE CASTRO PRADO

Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clínica Cirúrgica Veterinária da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para a obtenção do título de Mestre em Ciências.

Departamento:
Cirurgia

Área de concentração:
Clínica Cirúrgica Veterinária

Orientador:
Prof. Dr. Cassio Ricardo Auada Ferrigno

Co-orientador:
Prof. Dr. André Luis do Valle De Zoppa

São Paulo

2019

Autorizo a reprodução parcial ou total desta obra, para fins acadêmicos, desde que citada a fonte.

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO

(Biblioteca Virginie Buff D'Ápice da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo)

T. 3886
FMVZ

Prado, Leonardo Oliveira de Castro
Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal / Leonardo Oliveira de Castro Prado. – 2019.
85 f. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia. Departamento de Cirurgia, São Paulo, 2020.

Programa de Pós-Graduação: Clínica Cirúrgica Veterinária.

Área de concentração: Clínica Cirúrgica Veterinária.

Orientador: Prof. Dr. Cássio Ricardo Auada Ferrigno.
Coorientador: Prof. Dr. André Luis do Valle De Zoppa.

1. Conexão transversal. 2. Torção axial. 3. Fusão Vertebral. 4. Espaçador intervertebral. I. Título.

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Maria Aparecida Laet, CRB 5673-8, da FMVZ/USP.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

Comissão de Ética no Uso de Animais

CERTIFICADO

Certificamos que a proposta intitulada "Comparação biomecânica ex vivo da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal.", protocolada sob o CEUA nº 2226250717 (ID 005402), sob a responsabilidade de **Cássio Ricardo Auada Ferrigno** *e equipe; Leonardo Oliveira de Castro Prado* - 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 - está de acordo com os preceitos da Lei 11.794 de 8 de outubro de 2008, com o Decreto 6.899 de 15 de julho de 2009, bem como com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle da Experimentação Animal (CONCEA), e foi **aprovada** pela Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (CEUA/FMVZ) na reunião de 15/08/2018.

We certify that the proposal "Ex vivo biomechanical evaluation of caudal cervical vertebral bilateral stabilization by use of monocortical polyaxial screws and connecting rods associated or not with a transverse rod in dogs", utilizing 15 Dogs (males and females), protocol number CEUA 2226250717 (ID 005402), under the responsibility of **Cássio Ricardo Auada Ferrigno** *and team; Leonardo Oliveira de Castro Prado* - which involves the production, maintenance and/or use of animals belonging to the phylum Chordata, subphylum Vertebrata (except human beings), for scientific research purposes or teaching - is in accordance with Law 11.794 of October 8, 2008, Decree 6899 of July 15, 2009, as well as with the rules issued by the National Council for Control of Animal Experimentation (CONCEA), and was **approved** by the Ethic Committee on Animal Use of the School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo) (CEUA/FMVZ) in the meeting of 08/15/2018.

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

FACULDADE DE MEDICINA VETERINÁRIA E ZOOTECNIA

Comissão de Ética no Uso de Animais

São Paulo, 29th August 2019

CERTIFIED

We certify that the Research "Vertebral distraction-stabilization through polyaxial screws and intersomatic distractor in dogs with disco-associated cervical spondylomyelopathy: case reports", protocol number CEUAx 8555280519 (ID 001166), under the responsibility Cassio Ricardo Auada Ferrigno, agree with Ethical Principles in Animal Research adopted by Ethic Committee in the Use of Animals of School of Veterinary Medicine and Animal Science (University of São Paulo), and was approved in the meeting of day August 14, 2019.

Certificamos que o protocolo do Projeto de Pesquisa intitulado "Distração-estabilização vertebral por meio de parafusos poliaxias e distrator intersomático em cães com espondilomielopatia cervical discoassociada: relato de casos", protocolado sob o CEUAx nº 8555280519, sob a responsabilidade de Cassio Ricardo Auada Ferrigno, está de acordo com os princípios éticos de experimentação animal da Comissão de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, e foi aprovado na reunião de 14 de agosto de 2019.

Profa. Dra. Anneliese de Souza Traldi
Presidente da Comissão de Ética no Uso de Animais
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo

Roseli da Costa Gomes
Secretária
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Autor: PRADO, Leonardo Oliveira de Castro

Título: **Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal.**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Clínica Cirúrgica Veterinária da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências.

Data: _____/_____/_____

Banca Examinadora

Prof. Dr._____

Instituição:_____ Julgamento:_____

Prof. Dr._____

Instituição:_____ Julgamento:_____

Prof. Dr._____

Instituição:_____ Julgamento:_____

DEDICATÓRIA

A minha namorada, Marina Valsecchi Henriques, por todo apoio e paciência durante essa etapa.

Aos meus pais, Lucia Dionisia Oliveira de Castro Prado e Urias Carlos de Castro Prado, por todo amor e conhecimento que me permitiram essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, **Lucia Dionisia Oliveira de Castro Prado** e **Urias Carlos de Castro Prado,** que sempre me apoiaram em minhas decisões. Todas minhas conquistas só foram possíveis porque sempre soube que vocês estariam ao meu lado. Me sinto privilegiado por ter vocês como meus pais e como meus principais exemplos. Uma mãe professora e um pai médico explicam minha paixão por essas duas atividades tão nobres. Serei eternamente grato por todo amor que sempre me deram. Amo vocês.

A minha namorada, **Marina Valsecchi Henriques**, por ser minha maior companheira durante esses últimos oito anos. Me orgulho da pessoa que você é e de tudo que vivemos. Estarei sempre ao seu lado assim como você esteve durante essa etapa da minha vida. Te amo.

Ao meu irmão e minha cunhada, **Carlos Renato Oliveira de Castro Prado e Renata Cristiane Reina de Castro Prado**, por todos os momentos que passamos e tornaram essa etapa mais fácil, e por uma das melhores coisas que me aconteceram nesse ano, meu sobrinho **Gustavo**. Amo vocês três.

Ao meu orientador, **Prof. Dr. Cássio Ricardo Auada Ferrigno**, pela oportunidade de fazer parte de uma equipe excepcional e poder concluir mais esse objetivo. Muito obrigado por todo aprendizado e por me mostrar novos caminhos dentro da nossa profissão.

Ao meu co-orientador, **Prof. Dr. André Luis do Valle De Zoppa**. Muito obrigado por ter me guiado no fim dessa etapa. Você demonstrou ser um grande profissional, e uma pessoa sábia, sensata e muito positiva, que nos momentos mais difíceis me ajudou a tomar as decisões corretas com muita calma e racionalidade. Poucos assumiriam a responsabilidade que você assumiu e o fariam de forma tão exemplar. Fico feliz de ter me tornado seu orientado e grato por todos os ensinamentos que me tornaram além de um melhor profissional, uma melhor pessoa.

Ao meu amigo, **César Augusto Martins Pereira**. O chamo de meu amigo, mas poderia chamá-lo de orientador, professor, ou qualquer outra denominação que demonstre admiração. Você foi parte fundamental nesse estudo, como já foi em tantos outros. Se pudesse dividir este título que recebo você receberia a maior fatia. Muito obrigado por toda sua dedicação, empenho e por tornar esse projeto possível.

Aos meus companheiros do Laboratório de Ortopedia e Traumatologia (LOTC-FMVZ/USP), **Leandro Santos Lopes**, **Isis dos Santos Dal Bó**, **Fernanda Paes**, **Gabriel Antonio Covino Diamante**, **Thales Bregadioli**, **Renato Otaviano do Rego**, **Aline Schafrum Macedo**, **Bianca Fiuza Monteiro**, **Bianca Martins**, **Paulo Vinícius Tertuliano Marinho** e

Viviane Galeazzi. Obrigado pela amizade e por todo conhecimento que compartilhamos. Sempre lembrarei dessa equipe com muito carinho.

Agradeço, novamente, aos meus amigos **Gabriel Antonio Covino Diamante** e **Leandro Santos Lopes**, pela equipe que formamos desde o planejamento à execução de todas as etapas desse trabalho. A ajuda de vocês foi essencial para a concretização desse projeto. E as minhas amigas, **Isis dos Santos Dal-Bó** e **Fernanda Paes**, pelo apoio durante este trabalho. Isis, Leandro e Fernanda, espero que sejamos uma equipe cada vez mais próspera.

A todos os funcionários da FMVZ/USP, mas principalmente aos enfermeiros e amigos, **Cledson Lelis dos Santos**, **Jesus dos Anjos Vieira** e **Otávio Rodrigues dos Santos**. Fico feliz com a amizade que construímos e agradeço por todo o convívio que tivemos, sempre com muita alegria. Vocês são excelentes profissionais e ótimas pessoas. Sentirei falta dos momentos de descontração que passamos e que tanto me fizeram bem. Também dedico esta conquista ao meu amigo, funcionário do Setor de Patologia Clínica, **Edson Luis de Souza**, e agradeço por todo o empenho para me ajudar a realizar uma das etapas mais importantes do meu mestrado.

Aos funcionários do Departamento de Cirurgia**, Lívia dos Santos Gimenes** e **Belarmino Ney Pereira**, por todos os esclarecimentos quando tive dúvidas. **Lívia**, sou muito grato por toda atenção que você teve durante este período. Você foi muito importante para a conclusão desse estudo, assim como é para todo o Departamento de Cirurgia.

Agradeço aos membros que compuseram minhas bancas de qualificação e defesa da dissertação, **Prof. Dr. André Luis do Valle De Zoppa**, **Profa. Dra. Silvia Renata Gaido Cortopassi**, **Profa. Dra. Maria Claudia Campos Mello Inglez de Souza** e **Prof. Dr. Paulo Vinícius Tertuliano Marinho,** por todas as contribuições que enriqueceram esse estudo e pelos ensinamentos pelos quais serei sempre grato. Agradeço também as **Profs. Dras. Denise Tabacchi Fantoni** e **Aline Magalhães Ambrósio** pelo convívio nesses últimos anos e pelos diversos momentos que compartilhamos nossas experiências para melhor atendermos nossos pacientes.

Agradeço a todos os veterinários contratados, residentes, estagiários e pós-graduandos com os quais tive o prazer de trocar conhecimentos, ensinar e aprender. Agradecimento especial aos pós-graduandos **Anderson Fernando de Souza e Nicole Fidalgo Paretsis**, que foram extremamente solícitos em me ajudar a executar uma das etapas desse estudo. Estarei sempre à disposição para ajudá-los e será um enorme prazer retribuir a atenção que dedicaram a esse trabalho.

A empresa **Focus Produtos Ortopédicos**, pelo fornecimento dos implantes para a realização desse experimento. Obrigado pela parceria. Agradeço também a agência de fomento **CNPq** pelo auxílio financeiro para a realização desse trabalho.

Por último, mas não menos importante, agradeço aos animais. Minha paixão por vocês e pela medicina me fizeram escolher essa profissão há muito tempo. Obrigado por serem tão dedicados a nós. O amor que vocês expressam é a mais pura demonstração de afeto e espero que um dia, nós humanos, entendamos esse sentimento tão puro.

"O mundo está a mudar e eles sabem que devem procurar em si mesmos as pessoas novas em que irão tornar-se"

José Saramago

RESUMO

PRADO, L.O.C. **Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal.** 2020**.** 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

O tratamento cirúrgico para cães com espondilomielopatia cervical é presumido como o tratamento de eleição. Entretanto, na Medicina Veterinária, estudos biomecânicos e clínicos que propõem a viabilidade da fixação com parafusos vertebrais e barras conectoras, associados ou não a dispositivos que visam aumentar a estabilidade do segmento vertebral cervical de cães, são escassos. O objetivo do presente estudo foi verificar a aplicabilidade e resposta clínica da estabilização vertebral cervical caudal por meio de parafusos poliaxiais monocorticais em pacientes com espondilomielopatia cervical caudal, e analisar as propriedades biomecânicas deste método de fixação em espécimes caninas. No primeiro estudo foram analisados os resultados clínicos da técnica de distração-estabilização vertebral por meio de parafusos vertebrais poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados a um distrator intervertebral no tratamento de cinco cães com espondilomielopatia cervical disco-associada. Todos os cães apresentavam tetraparesia ambulatória. A total remissão das manifestações clínicas foi verificada em dois pacientes, dois cães apresentaram manutenção da graduação neurológica, e um apresentou resposta inaceitável, com piora do quadro neurológico. A principal complicação verificada foi o deslocamento ventral do distrator intervertebral. Após um tempo médio de acompanhamento de 15 meses ± 9,5 meses (1 a 26 meses) não foram verificados sinais de fusão vertebral. Desta forma, sugere-se que a técnica utilizada é uma opção viável para o tratamento de cães com espondilomielopatia cervical, embora sua efetividade em promover a fusão das vértebras tratadas ainda deva ser melhor estudada. Em estudo semelhante foram analisados 13 segmentos de colunas vertebrais (C5-T2) de cadáveres caninos que representaram três grupos experimentais. Os grupos foram divididos segundo a condição vertebral avaliada: G1, representado pelas colunas vertebrais íntegras (Grupo Íntegro); G2, representado pelas colunas vertebrais com parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras (Grupo Poliaxial); e G3, representado pelas colunas vertebrais com parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras com a adição de uma barra transversal (Grupo Poliaxial com Barra Transversal). Foram avaliados a amplitude de movimento (AM) e zona neutra (ZN) nos eixos de flexão e extensão e torção axial. Os grupos estabilizados demonstraram rigidez significativamente maior

em relação ao Grupo Íntegro. Entre os Grupos 1 e 2, para os dois parâmetros e eixos avaliados, houve diferença com valores de $p < 0,001$, assim como verificado na comparação da amplitude de movimento entre os Grupos 1 e 3. Na comparação da zona neutra entre os Grupos 1 e 3 verificou-se valores de $p = 0,009$ para torção axial e $p = 0,003$ para flexão-extensão, porém não houve diferença significativa entre os grupos de espécimes fixados com ou sem barra transversal, concluindo desta forma, que este método de estabilização é efetivo em aumentar a estabilidade da coluna vertebral cervical caudal e a adição de uma barra transversal pode não ser necessária na fixação do segmento estudado.

Palavras-chave: Conexão transversal. Torção axial. Fusão vertebral. Espaçador intervertebral

ABSTRACT

PRADO, L.O.C. **Ex vivo biomechanical evaluation of caudal cervical vertebral bilateral stabilization by use of monocortical polyaxial screws and connecting rods associated or not with a transverse rod in dogs.** 2020. 85 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

Surgical treatment for dogs with cervical spondylomyelopathy is presumed to be the treatment of choice. However, in veterinary medicine, biomechanical studies that propose the feasibility of fixation with vertebral screws and connectors bars, associated or not with devices that aim to increase the stability of the cervical vertebral segment of dogs, are scarce. The purpose of the present study was to verify the applicability and clinical response of caudal cervical vertebral stabilization through monocortical polyaxial screws in patients with caudal cervical spondylomyelopathy, and to analyze the biomechanical properties of this fixation method in canine specimens. In the first study, the clinical results of the vertebral distraction-stabilization technique were analyzed by means of monocortical polyaxial vertebral screws and connectors bars associated with an intervertebral distractor in the treatment of five dogs with disc-associated cervical spondylomyelopathy. All dogs had ambulatory tetraparesis. Complete remission of clinical signs was verified in two patients, two dogs showed maintenance of neurological grading, and one presented unacceptable response, with neurological worsening. The main complication observed was ventral displacement of the intervertebral distractor. After a mean follow-up of 15 months ± 9.5 months (1 to 26 months) no signs of spinal fusion were found. Thus, it is suggested that the technique used is a viable option for the treatment of dogs

with cervical spondylomyelopathy, although its effectiveness in promoting the fusion of the treated vertebrae should be further studied. In a similar study, 13 vertebral column segments (C5-T2) of canine cadavers representing three experimental groups were analyzed. The groups were divided according to the evaluated vertebral condition: G1, represented by intact vertebral columns (Intact Group); G2, represented by vertebral columns with monocortical polyaxial screws and connector bars (Polyaxial Group); and G3, represented by vertebral columns with monocortical polyaxial screws and connector bars with the addition of a transverse bar (Crosslink Polyaxial Group). Range of motion (ROM) and neutral zone (NZ) in the axes of flexion and extension and axial torsion were evaluated. The stabilized groups showed significantly higher stiffness compared to the Intact Group. Between Groups 1 and 2, for the two parameters and axes evaluated, there was a difference with p values < 0,001, as verified when comparing the range of motion between Groups 1 and 3. In comparing the neutral zone between Groups 1 and 3 were verified values of p = 0,009 for axial torsion and p = 0,003 for flexion-extension, but there was no significant difference between the groups of specimens fixed with or without crosslinks, thus concluding that this stabilization method is effective in increasing the stability caudal cervical spine and the addition of a crosslink may not be necessary for fixation of the studied segment.

Keywords: Cross-link. Axial torsion. Vertebral fusion. Intervertebral spacer

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 (Introdução geral) - Curva de deslocamento à carga. A) Estrutura submetida a cargas, com comportamento não linear, exibindo as áreas de AM, ZN e ZE. B) Gráfico análogo a curva de carga-deslocamento, denominado “bola na taça”, representando maior e menor estabilidade na figura da esquerda e direita, respectivamente.....19

Figura 2 (Capítulo I) - Imagem esquemática do distrator intervertebral com o detalhamento de sua arquitetura e seu dimensionamento (mm). A) Vista lateral evidenciando o ápice (direita) e a base (esquerda), com a respectiva angulação entre as extremidades do cone. B) Secção A-A com todos os dimensionamentos. C) Vista dorsal com a espessura da base envolvendo a rosca. D) Aspecto final do distrator. * Marinho, p.v.t. (2017) 30

Figura 3 (Capítulo I) – Caso Clínico 3. Procedimento cirúrgico. A) Inserção do distrator intervertebral após fenestração do disco intervertebral entre C6-C7. B) Distração intervertebral após completa inserção do distrator. C) Parafusos poliaxiais inseridos nos corpos vertebrais de C6 e C7. Nota-se a barra conectora, fixada pelos contraparafusos, unindo os parafusos inseridos do lado esquerdo dos corpos vertebrais (seta preta). D) Imagem de fluoroscopia realizada após o término do procedimento para confirmar o correto posicionamento do distrator e dos parafusos poliaxiais.....31

Figura 4 (Capítulo I) - Caso clínico 3. A) Imagem radiográfica lateral do período pós-operatório imediato. B) Imagem radiográfica lateral com 19 meses de acompanhamento e resposta completa ao tratamento com total remissão dos sinais neurológicos. Nota-se o deslocamento ventral do espaçador intervertebral (seta preta) 33

Figura 5 (Capítulo II) - Grupos experimentais. A) G1 (Grupo Íntegro) representado pela coluna íntegra, sem a adição de implantes na UVF tratada (C6-C7). B) G2 (Grupo Poliaxial) representado pela coluna com a adição de parafusos vertebrais poliaxiais monocorticais e barras conectoras. C) grupo 3 (G3) representado pela adição de parafusos vertebrais poliaxiais monocorticais e barras conectoras com a adição de uma barra conectora transversal.....44

Figura 6 (Capítulo II) - Dispositivo de ensaios biomecânicos com um dos espécimes posicionado para a realização do teste de flexão-extensão.....46

Figura 7 (Apêndice A) - Penetrômetro de alumínio com 25 degraus e variação de 1mm de altura entre eles.....60

Figura 8 (Apêndice A) - Ferramenta de seleção retangular utilizada para aferir a tonalidade de cinza de cada degrau de alumínio do penetrômetro.....61

Figura 9 (Apêndice A) - Ferramenta de seleção poligonal utilizada para aferir a tonalidade média de cinza da área de interesse (corpo vertebral de C6 e corpo vertebral de C7).....62

Figura 10 (Apêndice A) - Tabela com os resultados de tonalidades de cinza dos degraus da escala e da área de interesse utilizados na fórmula de “tendência” do software Microsoft Office Excel 365®. A célula A27 (em amarelo) representa o resultado obtido após a aplicação da

fórmula, indicando que a área de interesse possui densitometria de aproximadamente 12mmAl.....63

Figura 11 (Apêndice A) - Intervalo interquartil referente aos valores em mm/Al dos espécimes avaliados expressos por gráfico de caixa estreita (boxpot) em A, e por um gráfico linear em B.....64

Figura 12 (Apêndice A) - Teste de valor extremo (Grubbs), referente aos valores em mm/Al dos espécimes avaliados, expresso por um gráfico linear.....65

Figura 13 (Apêndice B) - Máquina de ensaios de torção ou de extensão/flexão ou de inclinação lateral. Onde: A- Caixa de sustentação, B- Painel de controle, C- Base deslizante, D- Conjunto motriz de torção, E- Garra tubular motriz, F- Segmento de coluna, G- Garra tubular fixa, H- Apoio ajustável, I: Braço motriz e J- Conjunto motriz de flexão/extensão ou inclinação lateral. Eixos, translações e rotações: e1-grau de liberdade translacional da base deslizante, e2- eixo de torção da coluna, e3- grau de liberdade rotacional da garra tubular motriz, e4- ajuste rotacional da garra tubular fixa (0º para flexão/extensão ou 90º para inclinação lateral), e5- eixo de flexão/extensão ou inclinação lateral da coluna, e6- grau de liberdade rotacional do braço motriz.....67

Figura 14 (Apêndice B) - Desenho esquemático do conjunto motriz, onde: A- Base, B- Motor elétrico, C- Redutor, D- Encoder óptico, E- Torquímetro, F- Eixo de transmissão G- Mancal com rolamento, H- Flange motriz.....68

Figura 15 (Apêndice B) - Painel de controle. Onde: A- Chave geral liga/desliga, B-Conector USB, C- Chave de emergência, D-Botão gira motor à direita, E- Botão gira motor à esquerda, F- Botão de seleção de velocidade do motor, G- LED de atividade, H- LED indicador de motor acionado, I- LED de erro e J-LED indicador de velocidade do motor (lenta ou rápida).....69

Figura 16 (Apêndice B) - Programa de aquisição do dispositivo. Painel de configurações em que é determinado o padrão do ensaio realizado, baseado no eixo de movimento, valores pré-definidos de torque ou deslocamento, número de ciclos, velocidade do ensaio e número de amostras registradas por segundo.....70

Figura 17 (Apêndice B) - Programa de análise. Resultados em forma de planilha após um ensaio de flexão extensão. No quadro localizado no canto inferior direito é possível verificar os resultados obtidos após análise pelo método de inflexão.....71

Figura 18 (Apêndice B) - Programa de análise. Gráfico gerado após análise pelo método de inflexão. Verifica-se os pontos de coloração verde (claro e escuro) que determinam a amplitude da zona neutra da amostra analisada.....71

Figura 19 (Apêndice C) - Desenho esquemático da vista ventral das vertebras estabilizadas e da localização dos parafusos que invadiram o canal vertebral (círculo preto) dos espécimes estudados. Amostras 11, 15 e 16 (A, B e C, respectivamente).....74

Figura 20 (Apêndice C) - Imagem do espécime 16. Invasão do parafuso caudal esquerdo de C6 verificada após procedimento de laminectomia dorsal e remoção do tecido medular e seio venoso do assoalho do canal vertebral.....74

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 (Capítulo I) - Dados clínicos dos pacientes incluídos no estudo.....32
Tabela 2 (Capítulo II) - Dados clínicos e da análise de densitometria óptica radiográfica dos 17 espécimes utilizados para a realização dos ensaios biomecânicos.....48
Tabela 3 (Capítulo II) - Tabela das características clínicas da amostra utilizada para análise estatística.....49
Tabela 4 (Capítulo II) - Comparação entre os grupos no eixo de torção axial.....49
Tabela 5 (Capítulo II) - Comparação entre os grupos no eixo de flexão-extensão.....50
Tabela 6 (Apêndice C) - Dados clínicos e ocorrência de invasão do canal vertebral dos 13 espécimes utilizados para a realização dos ensaios biomecânicos.....73

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 (Capítulo II) - Gráficos de média e desvio padrão da Amplitude de movimento (A) e Zona Neutra (B) entre os grupos no eixo de torção.....50

Gráfico 2 (Capítulo II) - Gráficos de média e desvio padrão da Amplitude de movimento (A) e Zona Neutra (B) entre os grupos no eixo de flexão-extensão.....51

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO GERAL 19

2 CAPÍTULO I 25

RESUMO 26

ABSTRACT 27

INTRODUÇÃO 28

CASUÍSTICA 28

DISCUSSÃO 33

REFERÊNCIAS 36

3 CAPÍTULO II 39

RESUMO 40

ABSTRACT 41

INTRODUÇÃO 42

MATERIAL E MÉTODO 43

RESULTADOS 47

DISCUSSÃO 51

CONCLUSÃO 55

REFERÊNCIAS 56

APÊNDICE A (Densitometria óptica radiográfica) 60

APÊNDICE B (Dispositivo de ensaios biomecânicos) 67

APÊNDICE C (Invasão do canal vertebral) 73

4 CONSIDERAÇÕES GERAIS 76

5 REFERÊNCIAS GERAIS 78

6 ANEXO A 84

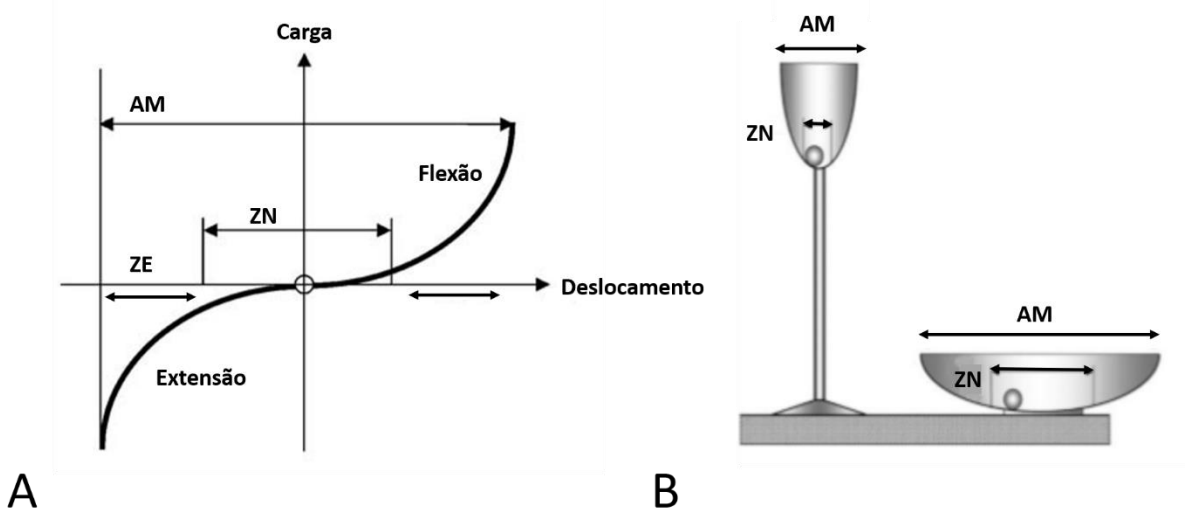
1 Introdução Geral

1 INTRODUÇÃO (GERAL)

A coluna vertebral canina permite movimentação fisiológica em três eixos anatômicos, flexão e extensão, inclinação lateral direita e esquerda, e torção axial direita e esquerda, sendo a coluna vertebral cervical o segmento de maior mobilidade (GRAUER; PANJABI, 2007; MIELE et al., 2011).

Para cada eixo anatômico a amplitude de movimento (AM) fisiológica é determinada pelo deslocamento do segmento entre as extremidades do movimento avaliado. No intervalo da amplitude de movimento existem momentos de maior e menor resistência a cargas (GRAUER; PANJABI, 2007; MIELE et al., 2011). Desta forma, observa-se que o movimento da coluna vertebral não é linear e apresenta duas fases de rigidez distintas determinadas como zona neutra (ZN), que corresponde a porção da AM em que o movimento ocorre contra mínima resistência interna, e a zona elástica (ZE) que consiste na porção entre o final da zona neutra e o final da amplitude de movimento, realizada contra maior resistência interna (PANJABI, 1992), como demonstrado na figura a seguir (Fig.1)

Figura 1. Curva de deslocamento à carga. A. Estrutura submetida a cargas, com comportamento não linear, exibindo as áreas de AM, ZN e ZE. B. Gráfico análogo a curva de carga-deslocamento, denominado “bola na taça”, representando maior e menor estabilidade na figura da esquerda e direita, respectivamente.



Fonte: Adaptado de Panjabi (2003)

Estudos biomecânicos de rigidez aplicados a coluna vertebral sugerem que a avaliação das unidades vertebrais funcionais (UVF) por meio da mensuração da zona neutra é o parâmetro mais sensível para avaliação da instabilidade vertebral, entretanto não é possível ser mensurada

in vivo, impossibilitando sua utilização em estudos clínicos (PANJABI, 1992; BUSSCHER et al., 2010).

A espondilomielopatia cervical (EMC) é frequente alvo desses estudos. Com etiologia ainda não bem determinada, a EMC é caracterizada como uma série de alterações que ocasionam compressões estáticas ou dinâmicas da medula espinhal e/ou raízes nervosas cervicais predominantemente em cães de raças grandes e gigantes (DE DECKER et al., 2012; DEWEY; DA COSTA, 2017).

A fisiopatologia da EMC se divide de acordo com a forma de compressão da medula espinhal, sendo a raças Doberman Pinscher e Dogue Alemão consideradas os representantes das duas formas distintas da doença, disco-associada e ósseo-associada, respectivamente. A EMC disco-associada promove compressão da medula espinhal por meio de protusão de um ou mais discos intervertebrais e pode estar associada ou não a hipertrofia ligamentar (ligamento longitudinal dorsal e/ou ligamento amarelo), afetando principalmente cães de meia idade na região dos discos intervertebrais entre as vértebras C5-C6 e C6-C7 (SHARP; WHEELER, 2005; SEIM, 2007; DA COSTA, 2010; DEWEY; DA COSTA, 2017).

O conceito de lesão dinâmica é essencial para o entendimento da apresentação das manifestações clínicas, e é importante saber diferenciá-la do conceito de instabilidade vertebral (LEVINE, 1997; ICHIHARA et al., 2003; HENDERSON et al., 2005; DA COSTA, 2007; DEWEY; DA COSTA, 2017). Lesão dinâmica é a piora ou melhora da compressão medular com diferentes posições da coluna vertebral cervical (WHITE; PANJABI, 1988; DA COSTA, 2010), já a instabilidade caracteriza-se como a perda da capacidade da coluna cervical, sob cargas fisiológicas, de manter o seu padrão normal de deslocamento (PANJABI et al., 2005; DEWEY; DA COSTA, 2017). Em seres humanos foi verificado que degenerações intervertebrais mais severas estão associadas ao aumento da rigidez da coluna vertebral (DAI, 1998; KUMARESAN et al., 2001), desta forma a presença frequente de graus avançados de degeneração do disco intervertebral de cães com EMC disco-associada torna improvável a presença de instabilidade vertebral quando estes pacientes desenvolvem as manifestações clínicas da doença (DA COSTA et al., 2006).

O histórico é geralmente crônico e progressivo, com manifestações clínicas que podem variar entre quadros de cervicalgia, sem déficits neurológicos, e quadros de tetraplegia (McKEE; SHARP, 2003; SHARP; WHEELER, 2005). Atualmente a ressonância magnética é considerada o exame padrão de excelência para o diagnóstico e tem como principal vantagem a possibilidade de avaliação do parênquima medular, que apresenta alterações de sinal em aproximadamente 50% dos cães (DEWEY; DA COSTA, 2017).

O tratamento cirúrgico é presumido como o de eleição e defendido em diversos estudos que abordam os procedimentos dividindo-os em três categorias que são, descompressão direta (p. ex. fenda ventral e laminectomia dorsal), descompressão indireta (p. ex. pinos e polimetilmetacrilato), e técnicas de preservação do movimento (p. ex. artroplastia de disco cervical) (CHAMBERS et al., 1982; CHAMBERS et al., 1986; VANGUNDY, 1988; BRUECKER et al., 1989; VANGUNDY, 1989; MCKEE et al., 1990; DIXON et al., 1996; DE RISIO et al., 2002; KOEHLER et al., 2005; VOSS et al., 2006; ADAMO et al., 2007; BERGMAN et al., 2008; SHAMIR et al., 2008; TROTTER, 2009; DA COSTA, 2010; ADAMO, 2011; DE DECKER et al., 2011; STEFFEN et al., 2011; HETTLICH et al., 2013; SOLANO et al., 2015; MCKEE et al., 2016; YANG et al., 2016; DEWEY; DA COSTA, 2017).

Para lesões disco-associadas estáticas a técnica de descompressão direta de fenda ventral (*slot ventral*) é a mais utilizada, com ótimos resultados apresentados, embora seja sugerido que este procedimento possa promover instabilidade clínica na coluna vertebral cervical de cães (RUSBRIDGE et al., 1998; KOEHLER et al., 2005). Lesões dinâmicas são usualmente tratadas por meio de técnicas de distração e estabilização vertebral. A utilização de parafusos ou pinos associados ao polimetilmetacrilato (PMMA), placas bloqueadas, placas SOP (*String-of-Pearl*), e placas de reconstrução, são algumas das técnicas descritas, assim como a utilização de diversos modelos de espaçadores intervertebrais utilizados a fim de adicionar estabilidade às fixações e proporcionar melhores condições para o processo de fusão vertebral (VOSS et al., 2006; BERGMAN et al., 2008; TROTTER, 2009; AGNELLO et al., 2010; HETTLICH et al., 2013; HETTLICH et al., 2014; SOLANO et al., 2015; HETTLICH et al., 2016).

Dentre os métodos supracitados, técnicas que envolvam a utilização de implantes monocorticais são recomendadas. Estudos que demonstram rigidez semelhante às técnicas com implantes bicorticais, com menores taxas de invasão do canal vertebral, defendem a utilização de implantes monocorticais, que promovem adequada estabilização e reduzem as taxas de lesão às estruturas neurais (HETTLICH et al., 2013; HETTLICH et al., 2016).

Inicialmente descrito no segmento lombar de seres humanos, a utilização de parafusos pediculares demonstrou ótimos resultados e passou a ser utilizada em outros segmentos da coluna vertebral (YOUKILIS et al., 2001; AOUDE et al., 2015). A utilização desses parafusos nos pedículos vertebrais está associada a grande resistência dessa porção vertebral. Embora o uso de parafusos vertebrais extrapediculares também seja descrito na literatura, Koller et al. (2008a) verificaram que a força de arrancamento dos parafusos pediculares na coluna vertebral cervical é até 2,5 vezes maior, quando comparados aos parafusos inseridos nos corpos vertebrais. A menor resistência dos parafusos extrapediculares às forças de arrancamento sugere

a necessidade de alternativas que complementem a estabilidade de segmentos vertebrais que não permitem a fixação pedicular, assim como verificado no segmento vertebral cervical de cães.

O aumento da rigidez por meio da adição de barras transversais ao sistema de parafusos vertebrais e barras conectoras é descrito em diversos estudos e tem sido associado ao aumento significativo da estabilidade vertebral contra movimentos de torção axial (OLERUD et al., 1988; PUNO; BECHTOLD, 1991; LIM et al., 1996).

Na literatura em medicina veterinária, estudos envolvendo a utilização de parafusos vertebrais pediculares são escassos, e embora seja utilizado esta denominação, a colocação de parafusos nos pedículos das vértebras caninas é de difícil aplicação, desta forma é mais correto denominá-los como parafusos vertebrais. Assim como em seres humanos, o segmento lombossacro foi alvo dos primeiros estudos veterinários. Embora demonstrem bons resultados clínicos, a ausência de fusão vertebral foi verificada pela maioria dos autores (SMOLDERS et al., 2012; TELLEGEN et al., 2015). No segmento cervical a utilização de parafusos vertebrais associados a barras conectoras é pouco descrita, porém os estudos verificados sugerem bons resultados clínicos e biomecânicos quando comparados com outras técnicas, e ressaltam a necessidade de novos estudos para colaborem para o melhor entendimento dessa opção no tratamento de cães com espondilomielopatia cervical (MARINHO et al., 2016; MARINHO, 2017).

Capítulo I

Distração-estabilização vertebral por meio de parafusos poliaxias e distrator intersomático em cães com espondilomielopatia cervical discoassociada: relato de casos

2 (CAPÍTULO I) DISTRAÇÃO-ESTABILIZAÇÃO VERTEBRAL POR MEIO DE PARAFUSOS POLIAXIAS E DISTRATOR INTERSOMÁTICO EM CÃES COM ESPONDILOMIELOPATIA CERVICAL DISCOASSOCIADA: RELATO DE CASOS

Distração-estabilização vertebral por meio de parafusos poliaxias e distrator intersomático em cães com espondilomielopatia cervical discoassociada: relato de casos

Vertebral distraction-stabilization by use of polyaxial screws and intersomatic distractor in dogs with disc-associated cervical spondylomyelopathy: case report

Leonardo Oliveira de Castro Prado[1], Gabriel Antonio Covino Diamante[1], Paulo Vinicius Tertuliano Marinho[2], André Luis do Valle De Zoppa[1], Cássio Ricardo Auada Ferrigno[1,3]

1 Serviço de Ortopedia - Departamento de Cirurgia (VCI) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil.
2 Faculdade de Medicina Veterinária – Instituto Federal do Sul de Minas Ferais – Campus Muzambinho, MG. Brasil.
3 Universidade da Florida – Gainesville, FL. Estados Unidos.

*Texto originalmente submetido para publicação no periódico: *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia – Brazilian Journal of Veterinary and Animal Sciences*. Submetido em 11 de Dezembro de 2019.

RESUMO

Os procedimentos de distração e estabilização vertebral são frequentemente realizados para o tratamento de cães com espondilomielopatia cervical disco-associada, principalmente pela sua eficiência em abolir o componente dinâmico das lesões. Este método realizado por meio de parafusos vertebrais poliaxiais associados ou não a distratores intervertebrais tem sido descrito como uma opção, embora seus benefícios ainda não estejam bem elucidados. O objetivo desse estudo foi avaliar os resultados clínicos da técnica de distração-estabilização vertebral por meio de parafusos vertebrais poliaxiais de titânio monocorticais e barras conectoras associados a um distrator intersomático no tratamento de cães com espondilomielopatia cervical disco-associada. Foram coletados dados de cinco cães com espondilomielopatia cervical disco-associada submetidos ao tratamento proposto entre julho de 2015 e agosto de 2017. Raça, sexo, idade, peso corporal, histórico clínico, instrumentação cirúrgica, complicações e evolução clínica foram avaliados. Todos os pacientes apresentavam quadro neurológico de tetraparesia ambulatória. Após o tratamento houve resposta completa e total remissão das manifestações clínicas em dois pacientes. Dois pacientes apresentaram manutenção da graduação neurológica e um paciente apresentou resposta inaceitável, com piora neurológica, sendo submetido a eutanásia aproximadamente um mês após a cirurgia. A principal complicação verificada foi o deslocamento ventral do distrator intervertebral sem que houvesse piora clínica dos animais após o ocorrido. O tempo médio de acompanhamento foi de 15 meses ± 9,5 meses (1 a 26 meses) e até o término do estudo não foram verificados sinais de fusão vertebral. Conclui-se que a técnica utilizada é opção viável para o tratamento de cães com espondilomielopatia cervical, embora sejam necessários estudos que comprovem sua efetividade em promover a fusão das vértebras tratadas.

Palavras chave: Espaçador intervertebral, Fusão vertebral, Hérnia de Disco, Síndrome de Wobbler;

ABSTRACT:

Vertebral distraction and stabilization procedures are often performed in the treatment of dogs with disc-associated cervical spondylomyelopathy, mainly for their efficiency in abolishing the dynamic component of the lesions. This method performed using polyaxial screws associated or not with intervertebral distractors has been described as an option, although its benefits are not yet well understood. The aim of this study was to evaluate the clinical results of the vertebral distraction-stabilization technique using monocortical titanium polyaxial vertebral screws and conector bars associated with an intersomatic distractor in the treatment of dogs with disc-associated cervical spondylomyelopathy. Data were collected from five dogs with disc-associated cervical spondylomyelopathy undergoing the proposed treatment between July 2015 and August 2017. Breed, gender, age, body weight, clinical history, surgical instrumentation, complications, and clinical course were evaluated. All patients had neurological symptoms of ambulatory tetraparesis. After treatment there was complete response and complete remission of clinical signs in two patients. Two patients had neurological grading maintenance and one patient had unacceptable response, with neurological worsening, being euthanized approximately one month after surgery. The main complication was the ventral displacement of the intervertebral distractor without clinical worsening after the occurrence. The mean follow-up time was 15 months ± 9.5 months (1 to 26 months) and until the end of the study no signs of spinal fusion were observed. It is concluded that the technique used is a viable option for the treatment of dogs with cervical spondylomyelopathy, although studies are needed to prove its effectiveness in promoting the fusion of the treated vertebrae.

Key words: Intervertebral spacer, Vertebral fusion, Disc herniation, Wobbler syndrome

INTRODUÇÃO

A espondilomielopatia cervical disco-associada (EMC-DA) é caracterizada pela compressão medular causada por um ou mais discos intervertebrais, associada ou não a anormalidades vertebrais e hipertrofia do ligamento amarelo (Dewey e Da Costa, 2017). Os discos intervertebrais entre C6-C7 e C5-C6 são os mais acometidos, respectivamente (Solano *et al*., 2015), e aproximadamente 39% dos cães diagnosticados com EMC-DA apresentam mais de um ponto de compressão medular (De Decker *et al*., 2009).

Procedimentos de descompressão indireta, que visam promover distração e estabilização vertebral e abolir o componente dinâmico da lesão, tem sido defendidos como os principais métodos de tratamento (Dewey e Da Costa, 2017). Dentre esses, os procedimentos que utilizam implantes monocorticais, como parafusos com polimetilmetacrilato (PMMA) e placas bloqueadas, se tornaram técnicas seguras para prevenir possíveis danos às estruturas neurais (Hettlich *et al*., 2013; Solano *et al*., 2015) quando comparadas a implantes bicorticais que demonstraram taxas inaceitáveis de violação do canal vertebral (Hettlich *et al*., 2013).

A adição de um espaçador intersomático com a finalidade de aumentar a rigidez das construções pode ser associada a todas as técnicas de distração e estabilização vertebral (Hettlich *et al*., 2014). Solano *et al*. (2015) utilizaram o espaçador Fitz Intervertebral Traction Screw (FITS) associado a placas bloqueadas SOP (String-of-Pearls), em dezesseis cães com EMC-DA, promovendo melhora do quadro neurológico em 15 animais, sugerindo excelentes resultados com a associação dessa técnica.

O uso de parafusos vertebrais e barras conectoras tem sido descrito como alternativa versátil e eficaz para a estabilização de segmentos vertebrais em cães (Smolders *et al*., 2012; Tellegen *et al*., 2015), entretanto estudos que demonstrem sua utilização no segmento cervical de cães são escassos (Marinho *et al*., 2016). O objetivo desse estudo é avaliar a técnica de distração-estabilização vertebral por meio de parafusos vertebrais poliaxiais de titânio monocorticais e barras conectoras associados a um distrator intervertebral no tratamento de cães com EMC-DA.

CASUÍSTICA

Esse estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (Nº Protocolo 8555280519) e realizado de acordo com os preceitos éticos estabelecidos para os animais de experimentação.

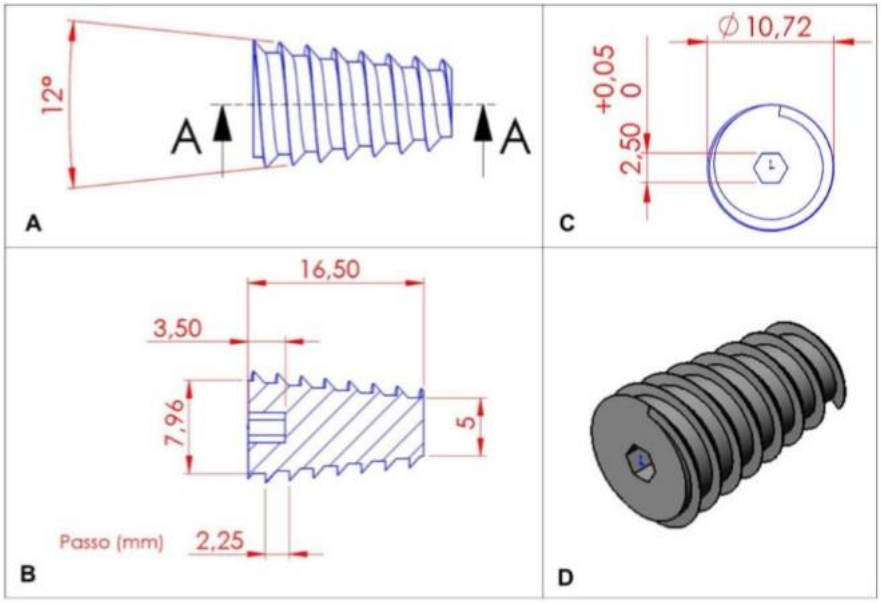
Foram coletados registros médicos de cães diagnosticados com espondilomielopatia cervical disco-associada (EMC-DA) atendidos no Serviço de Ortopedia do Departamento de

Cirurgia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo entre julho de 2015 e agosto de 2017. O diagnóstico foi realizado por meio de histórico clínico, avaliação neurológica, imagens radiográficas e ressonância magnética do segmento medular cervical e cervicotorácico. Todos os animais foram submetidos a tratamento cirúrgico de distração-estabilização por meio de parafusos vertebrais poliaxiais de titânio (PVPT) monocorticais e barras conectoras, com a adição de distrator intervertebral, em um ou dois espaços intervertebrais (EIV), aplicados no corpo vertebral ventral.

Os dados obtidos dos registros médicos incluíram raça, sexo, idade, peso corporal, histórico clínico, instrumentação cirúrgica, complicações, taxa de fusão vertebral e evolução clínica até o momento da descontinuidade do acompanhamento dos pacientes. A graduação neurológica utilizada para avaliação dos registros médicos foi adaptada da escala descrita por De Decker *et al*. (2012) e graduada de 0 a 5. Grau 0 foi definido como ausência de sinais neurológicos aparentes; grau 1 foi definido como cervicalgia sem déficits neurológicos; grau 2 como ataxia de membros pélvicos sem envolvimento de membros torácicos; grau 3 como tetraparesia ambulatória; grau 4 como tetraparesia não ambulatória; e grau 5 foi definido como quadro de tetraplegia.

A instrumentação cirúrgica foi composta por parafusos vertebrais poliaxiais de liga de titânio de 3,5 mm conectados por barras de liga de titânio de 5,0 mm e comprimento variável de acordo com o segmento estabilizado, e por um distrator intervertebral. O distrator intervertebral é um parafuso rosqueado cônico de titânio puro ASTM F67, de núcleo afilado e alma de 7,96 mm e 5 mm de diâmetro de base e ápice, respectivamente, e 16,5 mm de comprimento. A conicidade é de 12º e o passo de rosca de 2,25 mm (Fig.2).

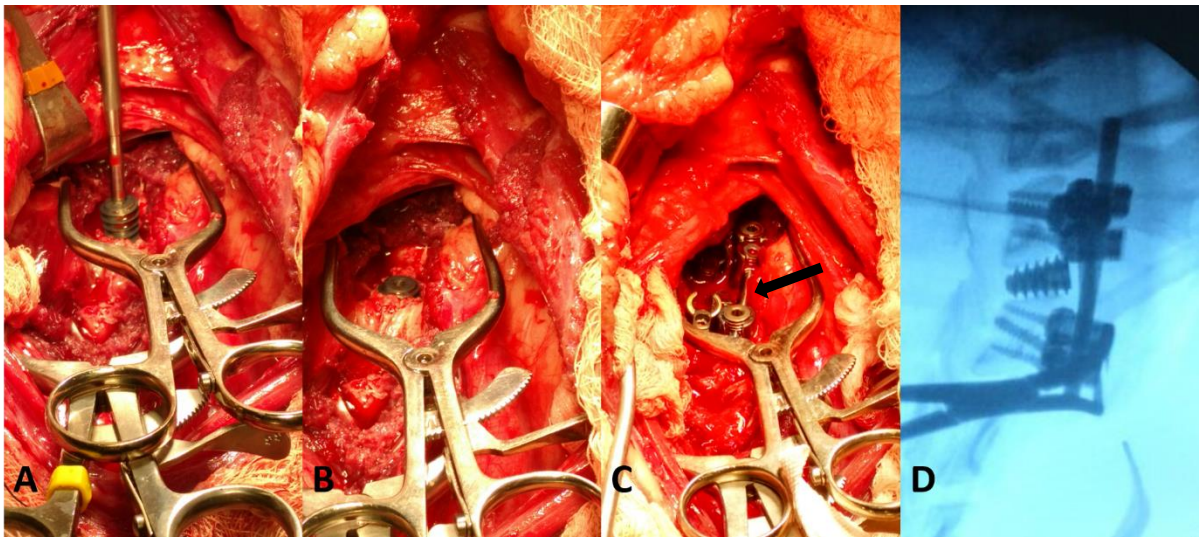
Figura 2. Imagem esquemática do distrator intervertebral com o detalhamento de sua arquitetura e seu dimensionamento (mm). A. Vista lateral evidenciando o ápice (direita) e a base (esquerda), com a respectiva angulação entre as extremidades do cone. B. Secção A-A com todos os dimensionamentos. C. Vista dorsal com a espessura da base envolvendo a rosca. D. Aspecto final do distrator. * Marinho, p.v.t. (2017).



Fonte: Marinho (2017)

O procedimento cirúrgico consistiu no posicionamento do paciente em decúbito dorsal e acesso cirúrgico cervical ventral para posterior realização de fenestração dos discos intervertebrais acometidos. Após dissecção da musculatura dos corpos vertebrais e incisão do ligamento longitudinal ventral, o procedimento de fenestração foi realizado por meio da criação de uma abertura central no ânulo fibroso e remoção do núcleo pulposo com auxílio de curetas, a fim de permitir a colocação do distrator, inserido de forma contínua com o uso de uma chave sextavada, até que fosse evidenciada completa distração intervertebral. Para a inserção de cada parafuso vertebral poliaxial foi realizada uma perfuração com broca de 2,5mm, e profundidade baseada nas imagens radiográficas e de ressonância magnética, de forma a evitar a penetração da cortical trans dos corpos vertebrais. Foram inseridos dois a três parafusos em cada vertebra, os quais foram unidos por duas barras conectoras fixadas com o uso de contraparafusos. Quando necessário, as barras foram moldadas para ter um perfeito acoplamento com os copos conectores e íntimo contato com a cabeça dos parafusos. Enxerto ósseo esponjoso autógeno foi coletado dos tubérculos umerais e colocado sobre o distrator, formando uma ponte sobre os espaços intervertebrais tratados. Após confirmação do correto posicionamento dos implantes por meio de fluoroscopia, foi realizada sutura de tecidos moles adjacentes de forma habitual (Fig.3).

Figura 3. Caso clínico 3. Procedimento cirúrgico. A) Inserção do distrator intervertebral após fenestração do disco intervertebral entre C6-C7. B) Distração intervertebral após completa inserção do distrator. C) Parafusos poliaxiais inseridos nos corpos vertebrais de C6 e C7. Nota-se a barra conectora, fixada pelos contraparafusos, unindo os parafusos inseridos do lado esquerdo dos corpos vertebrais (seta preta). D) Imagem de fluoroscopia realizada após o término do procedimento para confirmar o correto posicionamento do distrator e dos parafusos poliaxiais.



Fonte: Prado (2019)

Todos os animais selecionados realizaram tratamento medicamentoso com antibióticos (Cefalexina, 30mg/kg a cada 12 horas por 10 dias), analgésicos (Dipirona, 25mg/kg a cada 12 horas por 7 dias; Cloridrato de tramadol, 3mg/kg a cada 12 horas por 7 dias), e corticosteroides (Prednisona, 0,5mg/kg a cada 12 horas por 7 dias). As orientações no período pós-operatório imediato foram substituir a coleira cervical por coleira peitoral e manter o paciente em repouso absoluto nos primeiros dias após o procedimento. No período subsequente, foi orientado restrição de exercícios físicos, com retorno gradativo das atividades nas semanas seguintes, assim como reabilitação por meio de fisioterapia. A evolução clínica foi avaliada de acordo com a graduação neurológica no atendimento inicial e ao fim do acompanhamento de cada animal. Imagens radiográficas foram realizadas no período pré-operatório, durante e ao término do acompanhamento dos pacientes para verificação da presença de fusão vertebral.

Cinco cães foram incluídos no estudo. Um cão da raça Bernese, um Dobermam, um sem raça definida, um Rottweiler e um Pastor de Mallinois. Quatro cães eram do sexo masculino e um do sexo feminino, com média de idade de 8,9 anos ± 2,4 anos (5 a 11 anos) e média de peso corporal de 39,5 Kg ± 11,7 Kg (22 a 54 Kg). Todos os cães apresentavam grau 3 na escala neurológica. Foi estabilizado um espaço intervertebral em três cães (60%), dos quais 100% dos espaços estabilizados foi C6-C7, e dois espaços intervertebrais em 2 cães (40%), dos quais foram estabilizados os espaços C3-C4-C5 em um cão e C5-C6-C7 no outro animal (Tab. 1).

Tabela 1. Dados clínicos dos pacientes incluídos no estudo

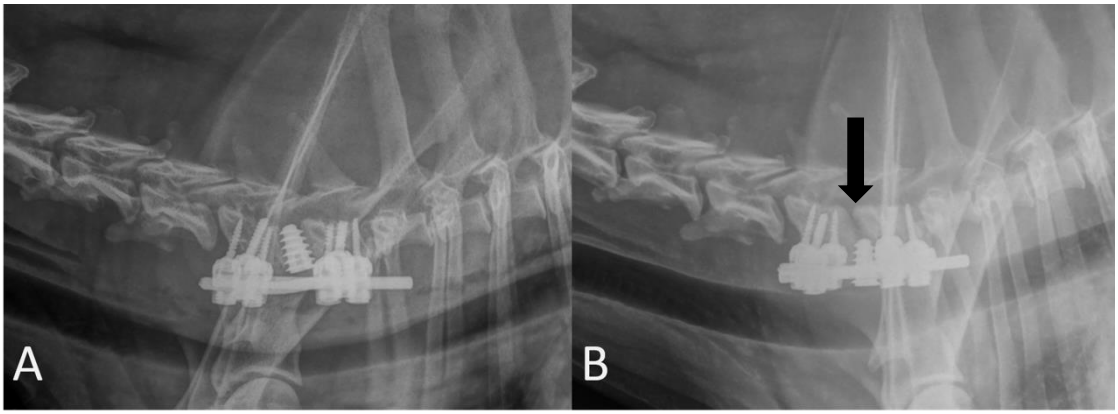
Caso	Raça	Sexo	Idade	Peso (Kg)	Graduação neurológica	EIV estabilizados	Acompanhamento (meses)
1	Bernese	M	11a 3m	40,3	Grau 3	C3-C4-C5	26
2	Dobermam	M	7a 9m	44,6	Grau 3	C6-C7	1
3	SRD	M	8a 6m	36,9	Grau 3	C6-C7	19
4	Rottweiller	F	5a 9m	54,0	Grau 3	C6-C7	11
5	Pastor de Mallinois	M	11a 5m	22,0	Grau 3	C5-C6-C7	19

Fonte: Prado (2019)

A configuração da instrumentação cirúrgica variou em relação ao número de parafusos utilizados em cada vértebra. Os animais 2, 3, 4 e 5 foram submetidos a estabilização com três parafusos por vértebra. Como exceção, o animal 1 foi submetido a estabilização com dois parafusos no corpo da terceira vértebra cervical e três parafusos nas demais vértebras (C4 e C5). Todos os parafusos do estudo foram monocorticais e inseridos na porção ventral dos corpos vertebrais.

Complicações perioperatórias foram verificadas apenas no caso 3, no qual houve sangramento da artéria vertebral lateral direita em região de C7, porém a hemostasia foi realizada com sucesso, com auxílio de esponja hemostática. Outras complicações foram seroma (caso 1); dermatite próximo a incisão cirúrgica e edema local (caso 3); e deslocamento ventral do distrator intervertebral (casos 1, 3 e 5) (Fig.4). O deslocamento ventral do distrator foi um achado identificado por meio de imagens radiográficas pós-operatórias, pois nenhum dos pacientes apresentou piora clínica que indicasse este evento. O paciente referente ao caso 2 foi submetido ao procedimento de eutanásia, o que foi comunicado por ligação telefônica, entretanto não foi possível identificar o problema devido a não colaboração do tutor em comparecer às avaliações para acompanhamento clínico.

Figura 4. Caso clínico 3. A. Imagem radiográfica lateral do período pós-operatório imediato. B. Imagem radiográfica lateral com 19 meses de acompanhamento e resposta completa ao tratamento com total remissão dos sinais neurológicos. Nota-se o deslocamento ventral do espaçador intervertebral (seta preta).



Fonte: Serviço de Ortopedia – FMVZ/USP (2018)

O tempo médio de acompanhamento dos animais foi de 15 meses ± 9,5 meses (1 a 26 meses). Dois cães (casos 1 e 3) apresentaram resposta completa ao tratamento com resolução do comprometimento neurológico. Dois cães (casos 4 e 5) apresentaram manutenção da graduação neurológica. Embora os pacientes 4 e 5 tenham permanecido com a graduação 3 da escala neurológica, foi relatado por seus tutores aumento significativo das atividades e importante redução da dor. O paciente referente ao caso 2 apresentou resposta inaceitável, com piora clínica após três semanas de pós-operatório, sendo submetido ao procedimento de eutanásia aproximadamente um mês após a cirurgia sem o consentimento ou indicação da equipe responsável. Não foi possível saber a causa da piora, pois o tutor não compareceu às avaliações agendadas, informando por telefone o desfecho do caso. Até o término do estudo não houve sinais de fusão vertebral em nenhum dos pacientes avaliados.

DISCUSSÃO

A espondilomielopatia cervical disco-associada é verificada principalmente em cães de raças grandes e de meia idade, assim como verificado no presente estudo (De Decker *et al*., 2012; Dewey e Da Costa, 2017).

Cães de porte grande tendem a apresentar degenerações e protusões dos discos intervertebrais mais caudais na coluna cervical e essa predisposição pode ser explicada pelas forças que atuam nessa região (Johnson *et al*., 2011). O espaço intervertebral mais afetado foi C6-C7 (80%) e dois animais apresentaram mais de um ponto de compressão medular. A maior prevalência de lesão no espaço C6-C7 e a presença de múltiplos espaços intervertebrais acometidos em animais com EMC-DA já foram descritas. De Decker *et al*. (2009) verificaram

o acometimento de C6-C7 e múltiplos pontos de compressão em aproximadamente 58% e 39% dos cães, respectivamente.

A utilização de implantes monocorticais para a estabilização cervical tem sido alvo de diversos estudos (Hettlich *et al*., 2013; Solano *et al*., 2015) e tem como principal motivo as taxas inaceitáveis de invasão do canal vertebral quando são utilizados implantes bicorticais (Hettlich *et al*., 2013). Nesse estudo, todos os parafusos foram monocorticais. A não penetração do canal vertebral foi constatada por meio de imagens radiográficas no período pós-operatório imediato, o que corrobora com os estudos previamente citados.

O acréscimo de um espaçador intervertebral tem como objetivo a distração vertebral e o aumento da rigidez (Hettlich *et al*., 2014). No presente estudo o espaçador utilizado foi adaptado do espaçador descrito por Solano *et al*. (2015), que foi associado com sucesso a placas SOP no tratamento de cães com EMC-DA. Nos casos 1, 3 e 5 foi verificado o deslocamento ventral do distrator intervertebral, entretanto não houve piora clínica associada ao evento e não foi necessário nova intervenção cirúrgica. Ao contrário do que foi verificado nesse estudo, o deslocamento de espaçadores intervertebrais é descrito, geralmente, associado com a utilização isolada deste dispositivo, embora sua ocorrência também já tenha sido descrita em associação com outros implantes (Pinder e Sharp, 2016).

A caracterização do quadro de recidiva das manifestações clínicas e piora abrupta relacionada a EMC-DA, no caso submetido a eutanásia, foi determinada devido às informações fornecidas pelo tutor, por telefone. Em caso de associação à lesão inicial acredita-se que a piora possa estar relacionada a falha dos implantes cirúrgicos ou acometimento de outro espaço vertebral posterior ao procedimento, entretanto não foi possível confirmar a verdadeira causa da piora clínica.

Dois pacientes (casos 1 e 3) apresentaram resposta completa ao tratamento, com resolução dos sintomas neurológicos, e dois animais (casos 4 e 5) apresentaram resposta aceitável com melhora ou manutenção da graduação neurológica, porém com considerável aumento das atividades físicas, provavelmente pela importante redução do desconforto doloroso verificado nesses animais. Marinho *et al*. (2016) relataram a realização de *slot ventral* associado a distração-estabilização por meio de parafusos vertebrais e barras conectoras em um cão com espondilomielopatia cervical disco-associada. Neste estudo, o paciente tratado apresentou melhora progressiva e após 120 dias de acompanhamento não apresentava déficits neurológicos ou sinais de falha dos implantes, entretanto não foi evidenciada fusão vertebral.

O objetivo principal das técnicas de distração e estabilização cervical é a rápida fusão vertebral afim de evitar falha dos implantes em decorrência do estresse cíclico. Solano *et al*.

(2015) verificaram fusão vertebral após seis semanas em dez dos 16 pacientes com espondilomielopatia cervical tratados com distrator intervertebral e placas. Nesse relato não foi verificado fusão vertebral em nenhum dos pacientes tratados. Estudos que utilizaram parafusos pediculares e barras conectoras para a estabilização da junção lombossacra de cães também não apresentaram evidência de fusão vertebral, e seus autores sugerem que este resultado pode estar relacionado ao desgaste inadequado das placas terminais das vértebras estabilizadas (Smolders *et al*., 2012; Tellegen *et al*., 2015).

Desta forma, conclui-se que o uso de parafusos vertebrais poliaxiais de titânio associados a um distrator intervertebral é uma opção viável e versátil para o tratamento de cães com EMC-DA, todavia são necessários estudos que possam comprovar suas características biomecânicas e definir sua correta aplicação clínica de forma a reduzir a taxa de migração do dispositivo intervertebral e ajudar a promover a fusão entre as vértebras tratadas.

REFERÊNCIAS

DE DECKER, S.; BHATTI, S.; DUCHATEAU, L. et al. Clinical evaluation of 51 dogs treated conservatively for disc-associated wobbler syndrome. *J. Small. Anim. Pract*., v.50, p.136-142, 2009.

DE DECKER, S.; GIELEN, L.; DUCHATEAU, L. et al. Evolution of clinical signs and predictors of outcome after conservative medical treatment for disk-associated cervical spondylomyelopathy in dogs. *J. Am. Vet. Med. A*., v. 240, p.848-857, 2012.

DEWEY, C.W.; DA COSTA, R.C. Mielopatias: doenças da medula espinhal. In: DEWEY, C.W.; DA COSTA, R.C. (1ª Ed). Neurologia canina e felina: guia prático. Brasil: GUARÁ, 2017. p.379-462.

HETTLICH, B.; ALLEN, M.; GLUCKSMAN, G. et al. Effect of na intervertebral disk spacer on stiffness after monocortical screw/polymethylmethacrylate fixation in simulated and cadaveric canine cervical vertebral columns. *Vet. Surg*., v.43, p.988-994, 2014.

HETTLICH, B.; ALLEN, M.; PASCETTA, D. et al. Biomechanical comparison between bicortical pin and monocortical screw/polymethylmethacrylate constructs in the cadaveric canine cervical vertebral column. *Vet. Surg*., v.42, p. 693-700, 2013.

JOHNSON, J.; DA COSTA, R.; BHATTACHARYA, S. et al. Kinematic motion patterns of the cranial and caudal canine cervical spine. *Vet. Surg*., v.40, p.720-727, 2011.

MARINHO, P.V.T.; MACEDO, A.S.; FERRIGNO, C.R.A. et al. Placement of vertebral screws for spinal stabilization and distraction in a dog with disc-associate cervical spondylomyelopathy: case report. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec*., v.70, p. 1427-1432, 2016.

PINDER, E.; SHARP, D. Cage subsidence after anterior cervical discectomy and fusion using a cage alone or combined with anterior plate fixation. *J. Orthop. Surg*., v.24, p.97-100, 2016.

SMOLDERS, L.; VOORHOUT, G.; VAN DE VEM, R. et al. Pedicle screw-rod fixation of the canine lumbosacral junction. *Vet Surg*., v.41, p.720-732, 2012.

SOLANO, M.; FITZPATRICK, N.; BERTRAN, J. Cervical distraction-stabilization using na intervertebral spacer screw and string-of-pearl (SOP^{tm}) plates in 16 dogs with disc-associated wobbler syndrome. *Vet. Surg*., v.44, p.627-641, 2015.

TELLEGEN, A.; WILLEMS, N.; TRYFONIDOU, M. et al. Pedicle screw-rod fixation: a feasible treatment for dogs with severe degenerative lumbosacral stenosis. *BMC Vet Res*., v.11, p.1-13, 2015.

Capítulo II

Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal.

3 (CAPÍTULO II) COMPARAÇÃO BIOMECÂNICA *EX VIVO* DA ESTABILIZAÇÃO BILATERAL DA COLUNA VERTEBRAL CERVICAL CAUDAL DE CÃES CONFERIDA POR MEIO DE PARAFUSOS POLIAXIAIS MONOCORTICAIS E BARRAS CONECTORAS ASSOCIADOS OU NÃO A BARRA TRANSVERSAL.

Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal

Ex vivo biomechanical evaluation of caudal cervical vertebral bilateral stabilization by use of monocortical polyaxial screws and connecting rods associated or not with a transverse rod in dogs.

Leonardo Oliveira de Castro Prado[1], Gabriel Antonio Covino Diamante[1], Leandro Santos Lopes[1], Paulo Vinicius Tertuliano Marinho[2], Cesar Augusto Martins Pereira[3], André Luis do Valle De Zoppa[1], Cássio Ricardo Auada Ferrigno[1,4]

1. Serviço de Ortopedia - Departamento de Cirurgia (VCI) da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia (FMVZ) – Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brasil.
2. Faculdade de Medicina Veterinária – Instituto Federal do Sul de Minas Ferais – Campus Muzambinho, MG. Brasil.
3. Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da USP – FMUSP, São Paulo, SP, Brasil.
4 Universidade da Florida – Gainesville, FL. Estado Unidos.

RESUMO

O tratamento cirúrgico para cães com espondilomielopatia cervical é presumido como o tratamento de eleição. Entretanto, na Medicina Veterinária, estudos biomecânicos que propõem a viabilidade da fixação por meio de parafusos vertebrais e barras conectoras para a estabilização do segmento cervical de cães são escassos. O objetivo do presente estudo é comparar as propriedades biomecânicas da estabilização vertebral cervical caudal de cães *ex vivo* por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a uma barra conectora transversal. Foram selecionados 17 segmentos de colunas vertebrais (C5-T2) de cadáveres caninos maturos e peso entre 20 a 35 kg, sem predileção por raça ou sexo, os quais foram submetidos a avaliação radiográfica e análise de densitometria óptica radiográfica. Destes, 13 espécimes foram utilizados para representação de três grupos experimentais. Os grupos foram divididos segundo a condição vertebral avaliada: G1, grupo colunas vertebrais íntegras (Grupo Íntegro); G2, grupo colunas vertebrais com parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras (Grupo Poliaxial); e G3, grupo colunas vertebrais com parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras com a adição de uma barra transversal (Grupo Poliaxial com Barra Transversal). A unidade vertebral funcional tratada foi C6-C7 e os espécimes foram submetidos a ensaios não destrutivos com momentos de torção e flexão, e avaliados dois parâmetros de movimento, nos eixos de flexão-extensão e torção axial, os quais são eles; amplitude de movimento (AM) e zona neutra (ZN). Os resultados de AM, ZN foram comparados estatisticamente entre os grupos com nível de significância de 5%. Os resultados demonstraram aumento significativo da rigidez nos grupos Poliaxial e Poliaxial com Barra Transversal quando comparados ao grupo Íntegro, com valores de $p < 0{,}001$ entre os Grupos 1 e 2, em relação a zona neutra e amplitude de movimento nos dois eixos estudados, assim como verificado na comparação da amplitude de movimento entre os Grupos 1 e 3. Para os resultados de zona neutra entre os Grupos 1 e 3, observou valor de p igual 0,009 e 0,003 para os eixos de torção axial e flexão-extensão, respectivamente. Não houve diferença significativa entre os grupos Poliaxial e Poliaxial com Barra Transversal. Conclui-se que a estabilização vertebral cervical caudal por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras com a adição ou não de uma barra transversal é eficaz no aumento da rigidez quando comparada a estabilidade do segmento vertebral integro, entretanto entre os grupos estabilizados a adição da barra transversal não proporcionou incrementos significativos da estabilidade.

Palavras-chave: Biomecânica. Conexão transversal. Espondilomielopatia cervical. Torção axial.

ABSTRACT

Surgical treatment for dogs with cervical spondylomyelopathy is presumed to be the treatment of choice. However, in veterinary medicine, biomechanical studies that propose the feasibility of fixation through vertebral screws and connector bars for the stabilization of the cervical segmento f dogs are scarce. The aim of the present study is to compare the biomechanical properties of caudal cervical vertebral stabilization of ex vivo dogs by means of monocortical polyaxial screws and connector bars associated or not with a transverse crosslink. Seventeen vertebral column segments (C5-T2) of mature canine cadavers weighing between 20 and 35 Kg were selected, with no preference for race or gender, which were submitted to radiographic evaluation and optical densitometry analysis in a radiographic image. Among these, 13 specimens were used for representation of three groups, that were divided according to the evaluated vertebral condition: G1, intact vertebral column group (Intact Group); G2, vertebral column group with monocortical polyaxial screws and connector bars (Polyaxial Group); G3, vertebral column group with monocortical polyaxial screws and connector bars with the addition of a transverse crosslink (Croslink Polyaxial Group). The functional vertebral unit treated was C6-C7 and the specimens were submitted to non-destructive tests with moments of torsion and flexion and two movement parameters were evaluated in the flexion-extension and axial torsion axes, which are, range of motion and neutral zone. Results were statistically compared between groups with a significance level of 5%. The results showed a significant increase of the stiffness in the groups Polyaxial and Crosslink Polyaxial when compared to the Intact Group, with p values < 0,001 between Groups 1 and 2, regarding the neutral zone and range of motion, in the two studied axes, as well as when comparing the range of motion between Groups 1 and 3. For the results of the neutral zone between Groups 1 and 3, p value of 0,009 and 0,003 was observed for axial torsion and flexion-extension axes, respectively. The was no significant difference between the groups Polyaxial and Crosslink Polyaxial. It can be conclude that caudal cervical stabilization by means of monocortical polyaxial screws and connector bars with the addition or not of a transverse crosslink is effective in increasing the stiffness when compared to the stability of the intact vertebral segment, however among the stabilized groups, the addition of the transverse crosslink did not provide significant stability increases.

Key words: Biomechanics. Cross-link. cervical spondylomyelopathy. Axial torsion

INTRODUÇÃO

A espondilomielopatia cervical (EMC) é uma doença comumente verificada em cães de raças grandes e gigantes, e é caracterizada pela compressão da medula espinhal e/ou raízes nervosas causada por doença do disco intervertebral ou por má formação óssea do canal vertebral (Adamo *et al*. 2007; Dewey e Da Costa, 2017).

Diversos procedimentos cirúrgicos foram descritos para o tratamento da EMC, com taxas de sucesso semelhantes (Dewey e Da Costa, 2017). As técnicas cirúrgicas são divididas entre artroplastia do disco intervertebral (Adamo et al., 2007) descompressão direta (slot ventral, laminectomia dorsal e hemilaminectomia) e descompressão indireta (distração e estabilização vertebral) (Koehler *et al*., 2005; Adamo *et al*., 2007; Hettlich, *et al*., 2013). Dentre as técnicas de distração e estabilização vertebral destacam-se a combinação de pinos bicorticais associados a polimetilmetacrilato (Koehler *et al*., 2005; Corlazzoli, 2008); parafusos monocorticais e polimetilmetacrilato; e placas bloqueadas (Steffen *et al*., 2011; Hettlich *et al*., 2013; Hettlich *et al*., 2016).

Na medicina humana, a instrumentação com o uso de parafusos pediculares na coluna vertebral tem sido utilizada de forma frequente nas últimas décadas. Esta técnica é considerada efetiva para o tratamento de diversas afecções, e apresenta altas taxas de fusão vertebral nos segmentos cervical, torácico e lombar (Koller *et al*., 2008b; Koktekir *et al*., 2015). A adição de barras transversais às configurações de parafusos pediculares e barras conectoras é utilizada com o pressuposto de aumentar a estabilidade da construção, principalmente no movimento de torção axial, o que foi verificado em diversos estudos (Lim *et al*., 1996; Valdevit *et al*., 2005; Kuklo *et al*., 2008; Majid *et al*., 2011).

Embora existam, na medicina veterinária, estudos biomecânicos que propõem a viabilidade da fixação por meio de parafusos vertebrais e barras conectoras para a estabilização de segmentos vertebrais em cães (Meij, *et al*., 2007; Smolders *et al*. 2012; Zindl *et al*., 2014; Tellegen *et al*. 2015), a literatura envolvendo a utilização desta técnica no segmento cervical é escassa (Marinho, 2017), e não foram encontrados estudos que avaliem a adição dos conectores transversais. Desta forma, objetivou-se comparar biomecanicamente a estabilidade cervical caudal de cadáveres de cães por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal.

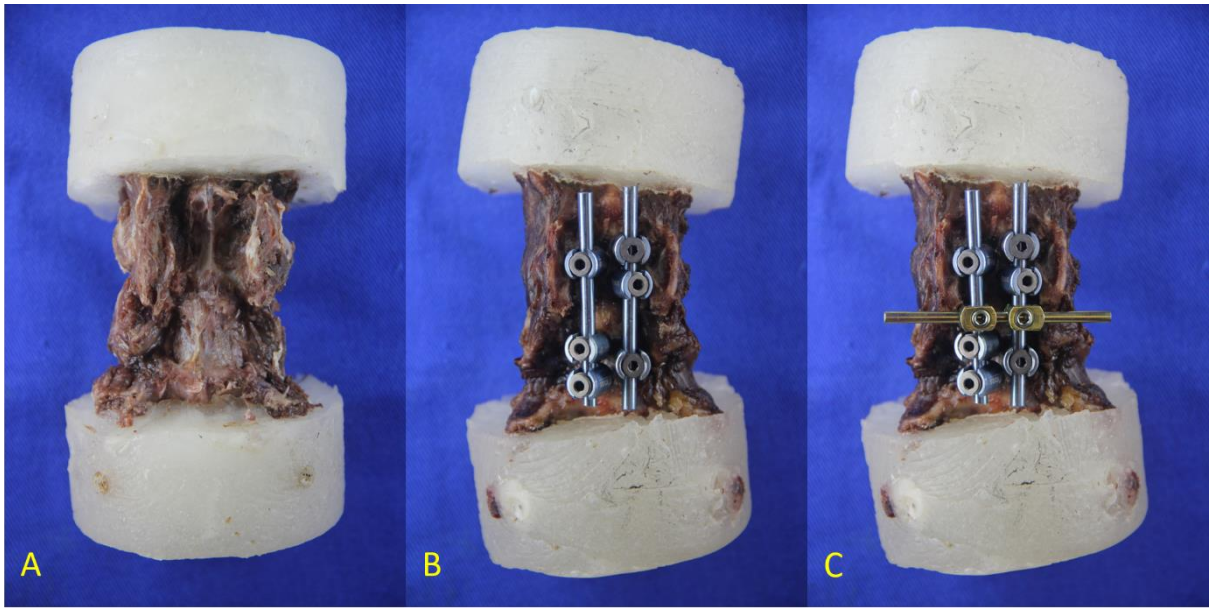
MATERIAL E MÉTODO

Esse estudo foi aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animal da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo (Nº protocolo. 2226250717) e realizado de acordo com os preceitos éticos estabelecidos para os animais de experimentação.

Foram utilizados 17 segmentos de colunas vertebrais (C5-T2) de cadáveres caninos esqueleticamente maturos e peso entre 20 a 35Kg, sem predileção por raça ou sexo, provenientes do Departamento de Patologia da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, que vieram a óbito por condições não relacionadas ao estudo. Os espécimes foram selecionados por meio de exames radiográficos (projeções lateral e ventro-dorsal) a fim de excluir qualquer espécime com anormalidades anatômicas ou doença ortopédica que pudesse alterar a densidade óssea e suas propriedades biomecânicas. Todos os espécimes foram submetidos a avaliação de densitometria óptica em imagem radiográfica (Apêndice A).

Os espécimes representaram três grupos experimentais divididos segundo a condição vertebral avaliada. Grupo Íntegro (G1), representado pelas colunas vertebrais íntegras sem a adição de implantes. Grupo Poliaxial (G2), representado pelas colunas vertebrais cervicais fixadas com parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras, e Grupo Poliaxial com Barra Transversal (G3), representado pelas colunas vertebrais cervicais fixadas com parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras com a adição de uma barra transversal (Fig.5). A unidade vertebral funcional tratada foi C6-C7, e as vértebras C5, T1 e T2 foram fixadas com resina acrílica autopolimerizável para acomodação no dispositivo de ensaios biomecânicos.

Figura 5. Grupos experimentais. A: G1 (Grupo Íntegro) representado pela coluna íntegra, sem a adição de implantes na UVF tratada (C6-C7). B: G2 (Grupo Poliaxial) representado pela coluna com a adição de parafusos vertebrais poliaxiais monocorticais e barras conectoras. C: G3 (Grupo Poliaxial com Barra Transversal) representado pela adição de parafusos vertebrais poliaxiais monocorticais e barras conectoras com a adição de uma barra conectora transversal.



Fonte: Prado (2019)

Os espécimes foram previamente armazenados à temperatura de –18ºC e posteriormente descongeladas à temperatura ambiente, mantidas umedecidas em solução de NaCl 0,9 e acondicionadas em caixas de isopor durante o período em que não estavam sendo submetidas aos testes biomecânicos. Três ciclos de congelamento e descongelamento foram necessários para a preparação dos corpos de prova e para os ensaios biomecânicos.

A preparação dos corpos de prova consistiu na remoção do tecido muscular das vertebras C5, T1 e T2 e posterior fixação de suas superfícies ósseas em resina acrílica autopolimerizável. A extremidade dos processos espinhosos de T1 e T2 foram removidos para permitir a acomodação no molde de resinagem, o qual tinha as mesmas dimensões das garras tubulares utilizadas para a acomodação das amostras no dispositivo de ensaios biomecânicos. O preparo da UVF tratada (C6-C7) consistiu na remoção do excesso de tecido adjacente paravertebral, porém com a preservação da musculatura epaxial, discos intervertebrais, ligamentos espinhais e cápsulas articulares.

Para a confecção dos grupos 2 e 3 foi realizada a dissecção da musculatura dos corpos vertebrais e processos transversos de C6 e C7, e a colocação de seis parafusos poliaxiais de 3,5mm de liga de titânio, sendo três inseridos ventralmente no corpo vertebral de C6 (dois do lado esquerdo e um do lado direito), e três inseridos ventralmente no corpo vertebral de C7 (dois do lado direito e um do lado esquerdo).

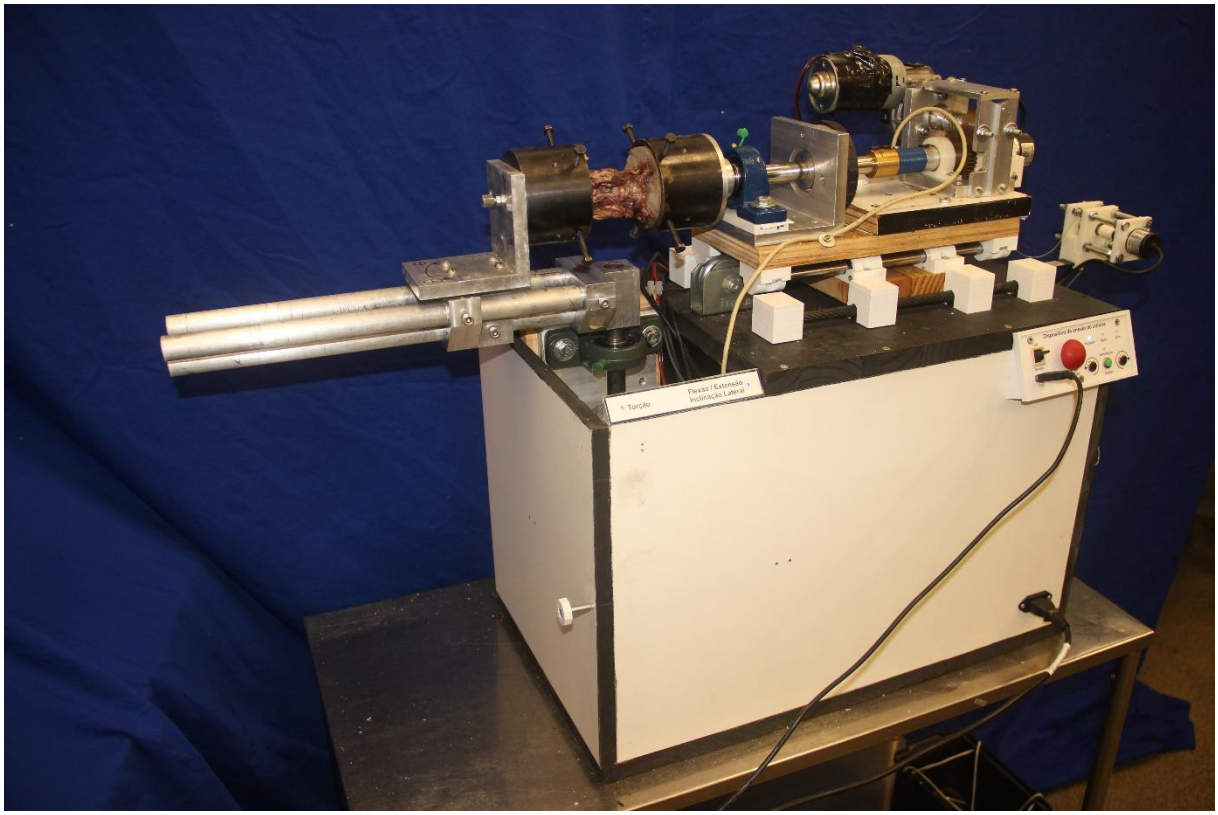
A perfuração com broca de 2,5mm abrangeu apenas a cortical cis e o osso esponjoso. A profundidade da perfuração foi determinada de acordo com as imagens radiográficas para corresponder à penetração de ao menos 80% do corpo vertebral sem envolvimento da cortical trans. Os parafusos foram introduzidos sem macheamento e orientados na posição mais perpendicular possível ao eixo dos corpos vertebrais. Após os ensaios os espécimes foram submetidos a procedimento de laminectomia dorsal para verificar a taxa de penetração do canal vertebral e assim a efetividade do método de mensuração para a colocação dos parafusos monocorticais.

Após a inserção, os parafusos foram conectados por uma barra conectora de liga de titânio com 5mm de diâmetro e aproximadamente 5cm de comprimento, fixadas aos parafusos por meio de contraparafusos. Após a colocação das barras conectoras foi adicionado a estas um mini-gancho responsável pelo acoplamento de uma barra de liga de titânio com 3mm de diâmetro, denominada barra transversal, que foi adicionada para a confecção do grupo 3.

Os implantes utilizados (parafusos poliaxiais, contraparafusos, barras conectoras, mini-ganchos e barras transversais) eram constituídos de liga de titânio respeitando a normativa ASTM F136 (Focus Produtos Ortopédicos, Indaiatuba/SP, Brasil)

O dispositivo de ensaios biomecânicos utilizado foi desenvolvido no Laboratório de Biomecânica do Laboratório de Investigação Médica (LMI – 41 IOT – HC/FMUSP) e tem como função a realização de ensaios não destrutivos de torção e flexão-extensão em espécimes de colunas caninas, com momentos de até 9 N.m. (Fig. 6 e Apêndice B). Todos os ensaios biomecânicos foram realizados no Instituto de Ortopedia e Traumatologia do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.

Figura 6. Dispositivo de ensaios biomecânicos com um dos espécimes posicionado para a realização do teste de flexão-extensão.



Fonte: Prado (2019)

Foram avaliados dois parâmetros de movimento nos eixos de torção axial e flexão/extensão da UVF tratada (C6-C7), com momento de força de 2 N.m, os quais são eles; amplitude de movimento (AM) e zona neutra (ZN). Os resultados dos parâmetros analisados foram coletados baseando-se em toda a extensão dos eixos estudados, assim como proposto em diversos estudos (Adamo *et al.*, 2007; Shaw *et al.*, 2011; Schollhorn *et al.*, 2013).

Para determinar o torque a ser aplicado foi realizado um estudo piloto com quatro segmentos de colunas vertebrais cervicais dentre os 17 espécimes coletados. Em dois segmentos foram aplicados torques sequenciais no eixo de flexão-extensão e em dois segmentos no eixo de torção. O teste foi iniciado com 1N.m, com aumento gradativo de 1N.m a cada repetição até que fosse verificado deformação plástica ou falha de alguma das estruturas de suporte, alterações caracterizadas por aumento abrupto da deformação angular sem aumento concomitante do torque aplicado. Nos ensaios de flexão-extensão e torção foi verificado que a partir da aplicação de torques de 3N.m houve mudança do padrão de movimento dos espécimes, aumento da amplitude da zona neutra e falha das estruturas após o aumento do torque nos ensaios subsequentes.

Os ensaios biomecânicos realizados nos treze espécimes restantes, para cada eixo de movimento nos grupos Íntegro, Poliaxial e Poliaxial com Barra Transversal, consistiam na realização de dois ciclos completos (flexão-extensão ou torção direita e esquerda) com posterior repouso por 30 segundos para permitir a recuperação dos tecidos elásticos e em seguida um terceiro ciclo, do qual foram coletados os resultados utilizados para análise. Esse método de ensaio foi denominado como método "panjabi" e era selecionado na aba de configurações do programa de aquisição. As aquisições foram realizadas com uma taxa de 25 amostras/segundo, a uma velocidade de 1 grau/segundo. Os ensaios eram registrados em forma de gráfico e planilha. Os resultados obtidos foram transferidos para um programa de análise que calculou o valor dos dois parâmetros desejados (amplitude de movimento e zona neutra). Os grupos foram comparados entre si, para cada parâmetro e eixo de movimento avaliado.

Para a realização da análise estatística, os dados foram digitados no programa Excel e posteriormente exportados para o programa SPSS v. 20.0. Foram descritas as variáveis categóricas por frequência e percentuais, e avaliada a simetria das variáveis quantitativas pelo teste de Shapiro Wilk. Estas foram descritas pela média e o desvio padrão e comparadas pela Análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas. Para as comparações múltiplas foi utilizada a correção de Bonferroni. Foi considerado um nível de significância com valores de *p* menores que 0,05 (5%).

RESULTADOS

Foram coletados 17 segmentos de colunas vertebrais cervicais. Destes, quatro espécimes foram utilizados para a realização dos testes-piloto e os outros treze foram utilizados para a realização dos ensaios biomecânicos (Tab. 2). Esses pertencem na sua maioria ao sexo masculino, de raça Labrador e Pitbull, com uma média de massa corporal de 28,1 ± 4,7Kg (Tab. 3). Entre os espécimes selecionados não foram verificadas amostras com valores atípicos na análise de densitometria óptica radiográfica.

Tabela 2. Dados clínicos e da análise de densitometria óptica radiográfica dos 17 espécimes utilizados para a realização dos ensaios biomecânicos.

Animal	Raça	Peso (Kg)	Sexo	Densitometria (mm/Al)
1	SRD	32	Fêmea	13
2	Labrador	21	Macho	14
3	Pitbull	27	Macho	16
4	Labrador	33	Macho	15
5*	SRD	22	Macho	11
6	Pitbull	23	Fêmea	15
7	Dalmata	25	Macho	16
8*	SRD	22,5	Macho	12
9	Rottweiler	33	Macho	14
10*	SRD	24	Fêmea	13
11	Pitbull	32	Macho	12
12	Husky Siberiano	21	Macho	8
13	Bull Terrier	28	Macho	13
14*	SRD	21	Fêmea	8
15	Golden Retriever	35	Fêmea	11
16	Labrador	28	Fêmea	16
17	Rottweiler	27	Fêmea	14

SRD – sem raça definida

* - espécimes utilizados para os testes-piloto

Fonte: Prado (2019)

Tabela 3. - Tabela das características clínicas da amostra utilizada para análise estatística.

Características clínicas		Medidas descritivas n=13
Sexo, n(%)		
	Fêmea	5 (38,5)
	Macho	8 (61,5)
Raça, n(%)		
	Bull terrier	1 (7,7)
	Dalmata	1 (7,7)
	Golden Retriever	1 (7,7)
	Husky Siberiano	1 (7,7)
	Labrador	3 (23,1)
	Pitbull	3 (23,1)
	Rottweiler	2 (15,4)
	SRD	1 (7,7)
Peso (Kg), média±desvio padrão		28,1±4,7

SRD – sem raça definida

Fonte: Prado (2019)

A comparação entre os grupos e variáveis foi realizada para cada eixo de movimento testado. No eixo de torção axial, para as duas variáveis (AM e ZN) houve diferença estatisticamente significativa entre o Grupo 1 e os Grupos 2 e 3. Em relação aos valores de zona neutra houve um aumento da rigidez de 21,31% no Grupo 2 e 27,04% para o Grupo 3, quando comparados ao Grupo 1. Os valores das médias das variáveis foram menores sempre para os Grupos 2 e 3 quando comparados com o Grupo 1. Entre os Grupos 2 e 3 não houve diferença estatisticamente significativa. As comparações são demonstradas na Tabela 4, e ilustradas pelos gráficos de média e desvio padrão (Gráfico 1).

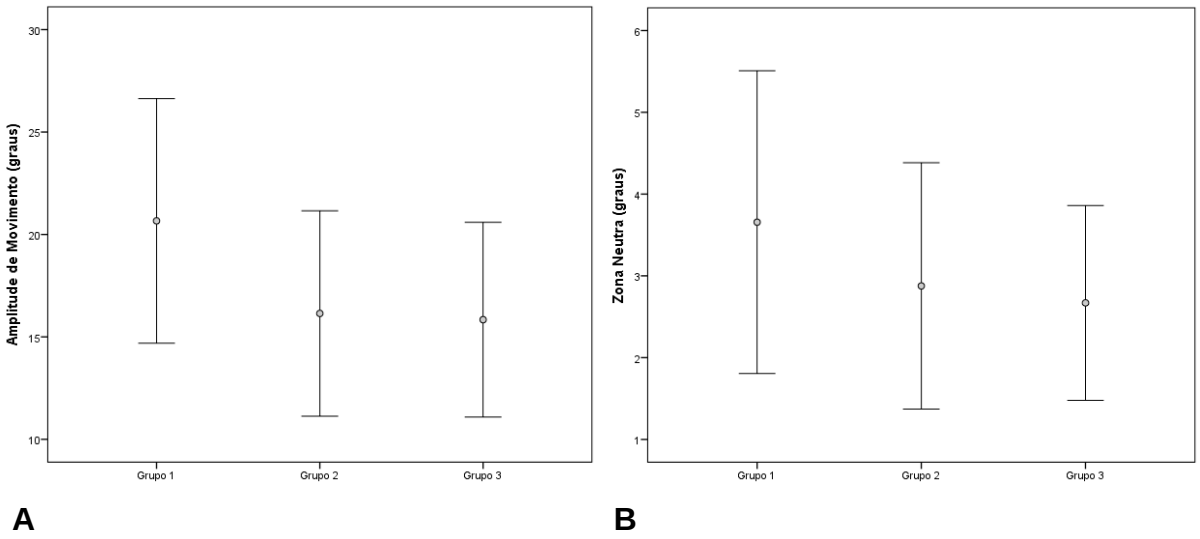
Tabela 4. Comparação entre os grupos no eixo de torção axial.

Variáveis	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	P grupos 1-2	P grupos 1-3	P grupos 2-3
Zona Neutra (graus)	3,66±1,85	2,88±1,51	2,67±1,19	**<0,001**	**0,009**	0,834
Amplitude de movimento (graus)	20,66±5,97	16,14±5,01	15,84±4,76	**<0,001**	**<0,001**	0,781

Grupo 1: integro; Grupo 2: poliaxial; Grupo 3 transversal. Dados apresentados pela média±desvio padrão e comparado pela Análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas e valores de P ajustados pelo ajuste de Bonferroni para comparações múltiplas.

Fonte: Prado (2019)

Gráfico 1. Gráficos de média e desvio padrão da Amplitude de movimento (A) e Zona Neutra (B) entre os grupos no eixo de torção.



Fonte: Prado (2019)

Assim como verificado para o eixo de torção axial, houve diferença estatisticamente significativa entre o Grupo 1 e os Grupos 2 e 3 para os valores de amplitude de movimento e zona neutra. Em relação a zona neutra houve um aumento da rigidez em 46,27% para o Grupo 2 e 41,87% para o Grupo 3, quando comparados ao Grupo 1. Os valores das médias das variáveis também foram sempre menores para os Grupos 2 e 3 quando comparados ao Grupo 1. Da mesma forma, entre os Grupos 2 e 3 não houve diferença estatisticamente significativa para nenhuma das variáveis. As comparações são demonstradas na Tabela 5, e ilustradas pelos gráficos de média e desvio padrão (Gráfico 2).

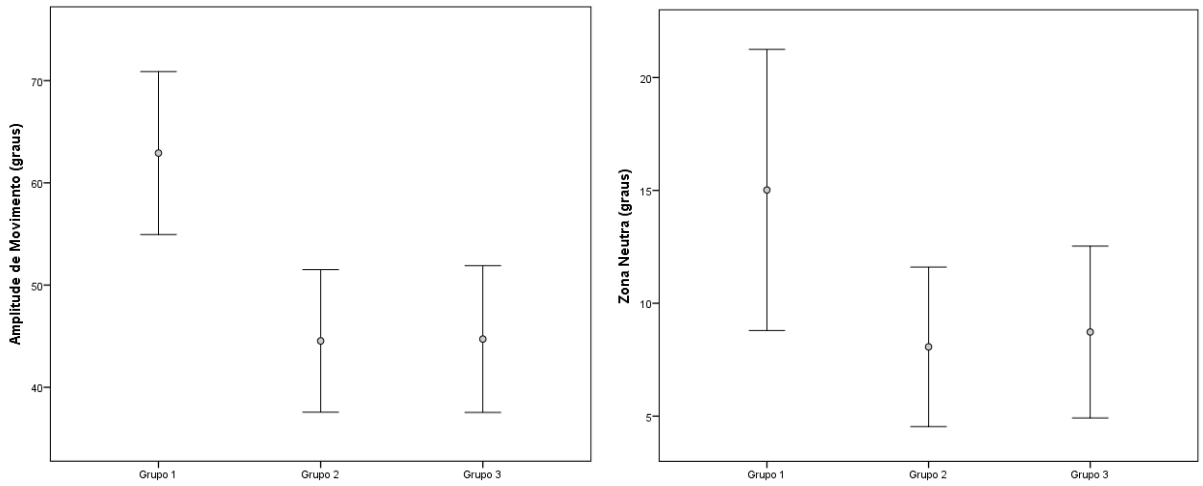
Tabela 5. Comparação entre os grupos no eixo de flexão-extensão.

Variáveis	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3	P grupos 1-2	P grupos 1-3	P grupos 2-3
Zona Neutra (graus)	15,02±6,23	8,07±3,53	8,73±3,80	**<0,001**	**0,003**	0,260
Amplitude de movimento (graus)	62,92±7,97	44,54±6,97	44,72±7,18	**<0,001**	**<0,001**	0,999

Grupo 1: integro; Grupo 2: poliaxial; Grupo 3 transversal. Dados apresentados pela média±desvio padrão e comparado pela Análise de Variância (ANOVA) para medidas repetidas e valores de P ajustados pelo ajuste de Bonferroni para comparações múltiplas.

Fonte: Prado (2019)

Gráfico 2. Gráficos de média e desvio padrão da Amplitude de movimento (A) e Zona Neutra (B) entre os grupos no eixo de flexão-extensão.



A **B**

Fonte: Prado (2019)

Para a confecção do Grupo Poliaxial dos treze espécimes utilizados foram inseridos 78 parafusos vertebrais monocorticais. Após o procedimento de laminectomia dorsal foi constatado que dentre todos os parafusos inseridos, três invadiram os canais medulares dos espécimes 11, 15 e 16. Todas as invasões ocorreram em parafusos inseridos no corpo vertebral de C6 (Apêndice C).

DISCUSSÃO

Neste estudo demonstrou-se que a utilização de parafusos vertebrais poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a uma barra transversal promovem aumento significativo da estabilidade em relação a coluna vertebral cervical caudal íntegra, entretanto foi verificado que a adição de uma barra transversal promoveu estabilidade similar a sua não utilização. Os resultados apresentados foram semelhantes para os eixos de torção axial e flexão/extensão, ainda que no eixo de torção axial a adição da barra transversal tenha proporcionado aumento da estabilidade, porém não significativo. Embora não tenha sido encontrado estudos em medicina veterinária, o uso de conectores transversais com a intenção de aumentar a estabilidade das fixações vertebrais já foi amplamente discutido em seres humanos (Valdevit *et al.*, 2005; Kuklo *et al.*, 2008; O'Brien *et al.*, 2009; Shaw *et al.*, 2011; Majid *et al.*, 2011).

O presente estudo apresentou limitações que devem ser consideradas. O modelo de estudo *ex vivo* pode não representar de forma fidedigna o comportamento *in vivo* das estabilizações vertebrais avaliadas. Os ensaios biomecânicos não foram cíclicos, desta forma a

avaliação da longevidade dos implantes utilizados e seu comportamento até a falha não foram analisados. A fadiga cíclica dos implantes ortopédicos é a principal forma de falha observada e a avaliação desse processo é indicada em estudos biomecânicos (Campello *et al*., 2009, Acevedo *et al*., 2018).

Outra limitação verificada foi a não randomização da sequência dos ensaios biomecânicos entre os grupos, o que é indicado para eliminar vieses que possam levar a diferentes resultados. A seleção dos espécimes foi baseada apenas na avaliação radiográfica e de densitometria óssea radiográfica, o que não é suficiente para descartar certas alterações anatômicas ou degenerações dos discos intervertebrais. Estudos sugerem que a seleção dos espécimes por meio de radiografias e ressonância magnética seja o método mais adequado (Adamo, 2007; Ramos *et al.*, 2015b; Marinho, 2017).

Finalmente, a avaliação da taxa de invasão do canal vertebral foi verificada por meio do procedimento de laminectomia dorsal que constatou a invasão por três parafusos dos 78 inseridos. Embora a verificação da penetração do canal vertebral possa ser feita dessa maneira, a completa trajetória dos parafusos não é visualizada, assim como parafusos que causam apenas o abaulamento da cortical trans do corpo vertebral. Estudos sugerem que a confirmação da trajetória dos parafusos pode ser adequadamente realizada com auxílio de imagens radiográficas ou por meio de arco cirúrgico (Hettlich *et al.*, 2016; Marinho, 2017). Hettlich *et al.* (2013), em estudo que comparou a rigidez de diferentes métodos de fixação da coluna vertebral cervical canina por meio de implantes monocorticais e bicorticais, verificaram que dos 72 parafusos monocorticais inseridos, sete causaram leve abaulamento da cortical trans e sete invadiram o canal vertebral. Desta forma, é possível que a menor taxa de invasão, no presente estudo, possa estar associada ao método de análise da trajetória dos parafusos.

Para a interpretação dos resultados, vale ressaltar ainda que os ciclos de congelamento e descongelamento exercem mínimo impacto nas características biomecânicas de amostras cadavéricas (Panjabi *et al*., 1985; Hongo *et al*., 2008). Os resultados dos trabalhos supracitados minimizam a possibilidade de vieses decorrentes do período de armazenamento e dos ciclos de congelamento e descongelamento aos quais os espécimes do presente estudo foram submetidos.

O acréscimo significativo da estabilidade dos grupos fixados em relação ao grupo íntegro é esperado. Em estudo biomecânico semelhante, Marinho (2017) verificou aumento da rigidez no eixo de flexão e extensão de aproximadamente 80% após a estabilização de segmentos cervicais com o uso de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados a um distrator intervertebral. Nesse mesmo estudo o autor concluiu que esse método

de fixação apresentou resultados comparáveis à estabilização por meio de pinos bicorticais e polimetilmetacrilato, técnica frequentemente descrita.

Outros estudos também verificaram aumento significativo da rigidez após estabilização do segmento lombossacro por meio de parafusos pediculares em comparação ao segmento integro (Meij *et al.*, 2007; Zindl *et al.*, 2014). Embora não tenha sido encontrado estudos em medicina veterinária que avaliam este método de fixação no eixo de torção, inúmeros estudos em seres humanos descrevem sua capacidade de aumentar a estabilidade neste eixo, em distintos segmentos vertebrais e condições de instabilidade (Kuklo *et al.*, 2008; O'Brien *et al.*, 2009; Shaw *et al.*, 2011).

A adição de uma barra transversal não representou aumento significativo da estabilidade quando comparado ao grupo que não a utilizou, nos dois eixos de movimento estudados. Entretanto houve aumento da rigidez com a adição da barra transversal no eixo de torção, que embora não significativo, este resultado corrobora com diversos estudos que demonstraram maior contribuição dos conectores transversais para o movimento de torção axial, assim como a pequena influência para o movimento de flexão e extensão (Kuklo *et al.*, 2008; Shaw *et al.*, 2011; Majid *et al.*, 2011).

Verificar a contribuição deste dispositivo para o movimento de torção axial é particularmente importante para o tratamento de pacientes com lesões na região cervical caudal, como avaliado nesse estudo, já que o segmento caudal da coluna cervical tem sido descrito como uma região de alta mobilidade em cães. Breit e Kunzel (2002) verificaram a relação dessa característica com a concavidade das facetas articulares nessa região, assim como a maior amplitude do movimento de rotação da coluna vertebral cervical em cães grandes, quando comparados a raças pequenas. Com conclusões semelhantes, Jonhson *et al.* (2011), em estudo cinemático, observaram que a coluna vertebral cervical caudal canina (C5-C7) sofre aproximadamente 2,6 vezes mais torção que a coluna vertebral cervical cranial (C2-C4), sem diferença significativa para os movimentos de flexão e extensão e inclinação lateral.

É importante observar que diversos aspectos para a utilização dos conectores transversais devem ser considerados a fim de determinar sua efetividade em aumentar a rigidez das fixações vertebrais. Neste estudo foi utilizado apenas uma barra transversal para a confecção do Grupo 3. Shaw *et al.* (2011) compararam a estabilização proporcionada por meio da utilização de uma ou duas barras transversais, em três diferentes modelos de instabilidade vertebral cervical em seres humanos, e verificaram que o movimento de torção axial foi o mais afetado, com aumento significativo da rigidez após a adição de um ou dois conectores, sendo a dupla conexão mais efetiva. Sugere ainda, que embora a indicação do estudo seja a utilização

de duas barras, a adição de uma barra pode ser adequada e superior a não utiliza-la. Resultado semelhante foi verificado por O'Brien *et al.* (2009), que avaliaram a adição de uma ou duas barras à estabilização do segmento cervicotorácico (C5-T2).

Lim *et al.* (1996) sugerem que quando utilizado apenas um conector transversal, o maior acréscimo de estabilidade torsional ocorre quando este é posicionado na porção mais proximal da construção, mais especificamente na posição ¼ (um quarto), e quando utilizados dois conectores a maior contribuição ocorre com a colocação nas posições 1/8 (um oitavo) proximal e no meio da construção. Nesse estudo a barra transversal foi utilizada na posição média, na direção do disco intervertebral. Este posicionamento foi determinado devido ao curto segmento estabilizado e o maior volume do processo transverso de C6, que limitaram a colocação do conector à essa posição. Todavia, Kuklo *et al.* (2008), verificaram que quando utilizado uma barra transversal em estabilizações longas do segmento torácico não houve diferença entre sua colocação na posição proximal, média ou distal.

No presente estudo foi avaliado apenas uma unidade vertebral funcional (C6-C7), todavia a utilização de barras transversais é frequentemente descrita em estabilizações longas, com duas ou mais UFV's. O benefício do acréscimo de conectores transversais a estabilizações longas é frequentemente descrito. Kuklo *et al.* (2008) observaram que o uso de uma ou duas barras transversais aumentou a estabilidade do segmento torácico no movimento de torção axial, com maior acréscimo quando utilizado dois conectores.

Como descrito, a sugestão em diversos trabalhos é a utilização de dois conectores transversais, porém em estabilizações curtas o encaixe de duas barras pode não ser possível como verificado durante o delineamento experimental desse estudo. O número de parafusos utilizados e o espaço limitado dos corpos vertebrais dos espécimes utilizados também foi notado como uma etapa de difícil execução. Papagelopoulos *et al.* (2003), em estudo que comparou a estabilização do segmento vertebral C5-C7, com ou sem a adição de barras transversais, sugeriram que o uso dessas conexões pode reduzir o número de parafusos vertebrais necessários sem que ocorra redução da rigidez. Embora não tenha sido avaliado esta situação no presente estudo, este resultado expõe outros benefícios que os conectores transversais possam ter e que ainda podem ser explorados no cenário atual do estudo de implantes em medicina veterinária, principalmente para estabilizações em que o espaço para a fixação seja limitado.

Apesar dos inúmeros estudos que sugerem a utilização de conectores transversais, há pesquisadores que defendem a abolição de seu uso. Kulkarni (2013) acompanhou 208 casos de estabilizações que não utilizaram conectores transversais em diferentes segmentos vertebrais de seres humanos com distintas enfermidades, exceto o segmento cervical, por um período

médio de 15 meses, e verificou por meio de avaliações radiográficas que houve alta taxa de fusão dos espaços intervertebrais tratados, sem sinais de instabilidade rotacional, o que questiona as necessidade desse dispositivo. Essa divergência extrema de resultados exalta a necessidade contínua de estudos que possam esclarecer os benefícios deste e de outros implantes ortopédicos que ainda não tem sua aplicação e eficácia bem definidas.

CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos conclui-se que a fixação por meio de parafusos poliaxiais monocorticais associados ou não a uma barra transversal foi eficaz em aumentar a estabilidade do segmento vertebral cervical caudal, e que nas condições estudadas a adição de uma barra transversal não contribuiu para o aumento da rigidez, e talvez sua utilização não seja necessária. Entretanto deve-se enfatizar a importância da realização de novas pesquisas que avaliem sua aplicação em cenários que não possuam as limitações encontradas no referido estudo, a fim de esclarecer seu comportamento biomecânico e sua utilidade clínica.

REFERÊNCIAS

ACEVEDO, C.; STADELMANN, V.A.; PIOLETTI, D. P. et al. Fatigue as the missing link between bone fragility and fracture. *Nat. Biomed. Engineer*., p. , n. , 2018

ADAMO, P.F.; KOBAYASHI, H.; MARKEL, M. et al. 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*., v. 36, n. 8, p. 729-741, 2007.

BREIT, S.; KUNZEL, W. Shape and orientation of articular facets of cervical vertebrae (C3-C7) in dogs denoting axial rotational ability: an osteological study. *Eur. J. Morphol*., v. 40, n. 1, p. 43-51, 2002.

CAMPELLO, T. N.; SILVA, I. N. L.; SIMÕES, M. S. Prótese para substituição total de disco intervertebral: desenvolvimento de modelo computacional e análise por elementos finitos. *Coluna*, v. 8, p. 38-42, 2009.

CORLAZZOLI, D. Bicortical implant insertion in caudal cervical spondylomyelopathy: a computed tomography simulation in affected Doberman Pinschers. *Vet. Surg*., v. 37, n. 2, p. 178-185, 2008.

DEWEY, C.W.; DA COSTA, R.C. Mielopatias: doenças da medula espinhal. In: DEWEY, C.W.; DA COSTA, R.C. (1ª Ed). Neurologia canina e felina: guia prático. Brasil: GUARÁ, 2017. p.379-462.

HETTLICH, B.F.; ALLEN, M. J.; PASCETTA, D. et al. Biomechanical Comparison Between Bicortical Pin and Monocortical Screw/Polymethylmethacrylate Constructs in the Cadaveric Canine Cervical Vertebral Column. *Vet. Surg*., v. 42, n. 6, p. 693-700, 2013.

HETTLICH, B.F.; FOSGATE, G. T.; LITSKY, A. S. Biomechanical Comparison of 2 Veterinary Locking Plates to Monocortical Screw/Polymethylmethacrylate Fixation in Canine Cadaveric Cervical Vertebral Column. *Vet. Surg*., v. 46, n. 1, p. 95-102, 2016.

HONGO, M.; GAY, R.E.; HSU, J.T. et al. Effect of multiple freeze-thaw cycles on intervertebral dynamic motion characteristics in the porcine lumbar spine. *J. Biomech*., v.41, p. 916-920, 2008.

JOHNSON, J.; DA COSTA, R.; BHATTACHARYA, S. et al. Kinematic motion patterns of the cranial and caudal canine cervical spine. *Vet. Surg*., v.40, p.720-727, 2011.

KOEHLER, C.L.; STOVER, S.M.; LECOUTEUR, R.A. et al. Effect of a ventral slot procedure and of smooth or positive-profile threaded pins with polymethylmethacrylate fixation on intervertebral biomechanics at treated and adjacente canine cervical vertebral motion units. *Am. J. Vet. Res*., v. 66, p. 678-687, 2005.

KOKTEKIR, E.; TOKTAS, Z. O.; SEKER, A. et al. Anterior transpedicular screw fixation of cervical spine: Is it safe? Morphological feasibility, technicalproperties, and accuracy of manual insertion. *Spine*, v. 22, n. 6, p. 596-604, 2015.

KOLLER, H.; HEMPFING, A.; ACOSTA, F. et al. Cervical anterior transpedicular screw fixation. Part I: Study on morphological feasibility, indications, and technical prerequisites. *Eur. Spine J*., v. 17, n. 4, p. 523-338, 2008b.

KUKLO, T.R.; DMITRIEV, A.E.; CARDOSO, M.J. et al. Biomechanical contribution of transverse connectors to segmental stability following long segment instrumentation with thoracic pedicle screws. *Spine*. v. 33, n. 15, p. 482-487, 2008.

KULKARNI, A. G. Should we cross the cross-links? *Spine Biomech*., v. 38, n. 18, p. 1128 – 1143, 2013.

LIM, T.H.; ECK, J.C.; AN, H.S. et al. Biomechanics of transfixation in pedicle screw instrumentation. *Spine*. v. 21, n. 19, p. 2224-2229, 1996.

MAJID, K.; GUDIPALLY, M.; HUSSAIN, M. et al. The biomechanical effect of transverse connectors use in a pre and postlaminectomy modelo for the posterior cervical spine. *Spine*. v. 36, n. 26, p. 1694-1701, 2011.

MARINHO, P.V.T. Comparação biomecânica ex vivo da estabilização vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de pinos bicorticais e polimetilmetacrilato ou parafusos poliaxiais monocorticais associados ou não a distrator intersomático. 2017. 155 fls. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

MEIJ, B. P.; SUWANKONG, N.; VAN DER VEEN, A. J. et al. Biomechanical flexion-extension forces in normal canine lumbosacral cadáver specimens before and after dorsal laminectomy-discectomy and pedicle screw-rod fixation. *Vet. Surg*., v. 36, n. 8, p. 742-751, 2007.

O'BRIEN, J.R.; DMITRIEV, A.E.; YU, W. et al. Posterior-only stabilization of 2-column and 3-column injuries at the cervicothoracic junction. *J. Spinal. Disord. Tech*., v. 22, p. 340-346, 2009.

PANJABI, M.M.; KRAG, M.; SUMMERS, D. et al. Biomechanical time-tolerance of fresh cadaveric human spine specimens. *J. Orthop. Res*., v. 3, p. 292-300, 1985.

PAPAGELOPOULOS, P.J.; CURRIER, B.L.; NEALE, P.G. Biomechanical evaluation of posterior screw fixation in cadaveric cervical spines. *Clin. Orthop. Relat. Res*., n. 411, p. 13-24, 2003.

RAMOS, R.M.; COSTA, R.C.; OLIVEIRA, A.L. Morphological changes of the caudal cervical intervertebral foramina due to flexion-extension and compression-traction movements in the canine cervical vertebral column. *BMC Vet. Res*., v. 11, n. 184, p. 1-8, 2015.

SCHOLLHORN, B.; BURKI, A.; STAHL, C. et al. Comparison of the biomechanical properties of a ventral cervical intervertebral anchored fusion device with locking plate fixation applied to cadaveric canine cervical spines. *Vet. Surg*., v. 42, p. 825-831, 2013.

SELIM, M. B. Avaliação estrutural do osso terceiro metacarpiano equino frente à implantação de biopolímero à base de mamona. 2013. 122 fls. Dissertação (Mestre em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

SHAW, M.N.; MOREL, E.P.; UTTER, P.A. et al. Transverse connectors providing increased stability to the cervical spine rod-screw constructo: na in vitro human cadaveric study. *J. Neurosurg. Spine*., v. 14, p. 719-725, 2011.

SMOLDERS, L. A.; VOORHOUT, G.; VAN DE VEN, R. et al. Pedicle screw-rod fixation of the canine lumbosacral junction. *Vet. Surg*., v. 41, n. 6, p. 720-732, 2012.

STEFFEN, F.; VOSS, K.; MORGAN, J.P. Distraction-fusion for caudal cervical spondylomyelopathy using an intervertebral cage and locking plates in 14 dogs. *Vet. Surg*., v. 40, p. 743-752, 2011.

TELLEGEN, A. R.; WILLEMS, N.; TRYFONIDOU, M. A. et al. Pedicle screwrod fixation: a feasible treatment for dogs with severe degenerative lumbosacral stenosis. *BMC Vet. Res*., v. 7, n. 11, p.299, 2015.

VALDEVIT, A.; KAMBIC, H.E.; MCLAIN, R.F. Torsional stability of cross-link configurations: a biomechanical analysis. *Spine. J*., v. 5, p. 441-445, 2005.

ZINDL, C.; ALLEN, M. J.; FITZPATRICK, N. et al. R. Motion capture analysis of the mechanical performance of a novel pedicle screw-rod fixation system for the canine lumbosacral joint. In: IV WORLD VETERINARY ORTHOPAEDIC CONGRESS & 41ST VETERINARY ORTHOPEDIC SOCIETY CONFERENCE, Breckenridge, 01-08 mar. 2014. Abstracts., p. 9A, 2014

APÊNDICE A

DENSITOMETRIA ÓPTICA RADIOGRÁFICA

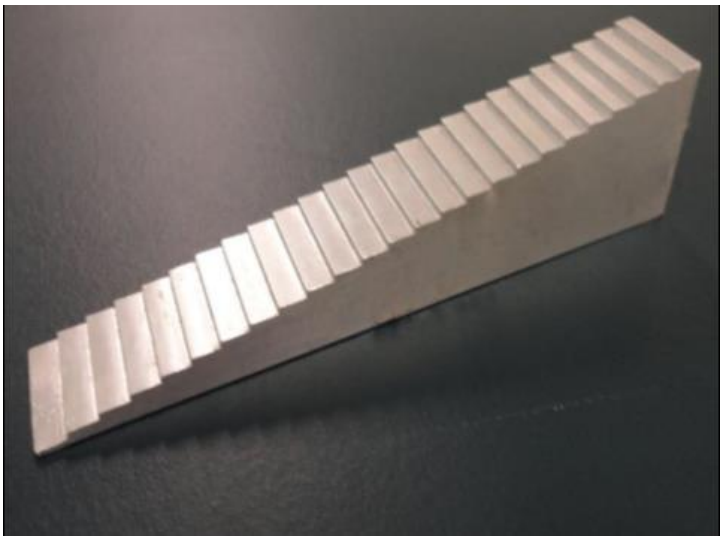
APÊNDICE A - Densitometria óptica radiográfica

As imagens radiográficas foram realizadas junto ao Serviço de Cirurgia de Grandes Animais da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da Universidade de São Paulo.

Foram realizadas duas projeções radiográficas dos espécimes coletados, a ventro-dorsal e a lateral. Para a realização das duas projeções os espécimes foram posicionados no cassete digital junto a uma escala de alumínio (penetrômetro) de 25 degraus com o aparelho de emissão de raio x a uma distância de aproximadamente 1m e os feixes de raios colimados na área de interesse. A técnica padronizada foi de 60kV de tensão e de 1,8mAs de tempo de exposição.

O penetrômetro de alumínio foi utilizado para a calibração do sistema de tonalidades. A escala possui 25 degraus de alumínio com diferença de 1mm de altura entre eles, desta forma, o 1º degrau possui 1mm de altura e o 25º, 25mm (Fig.7).

Figura 7. Penetrômetro de alumínio com 25 degraus e variação de 1mm de altura entre eles.



Fonte: Selim (2013)

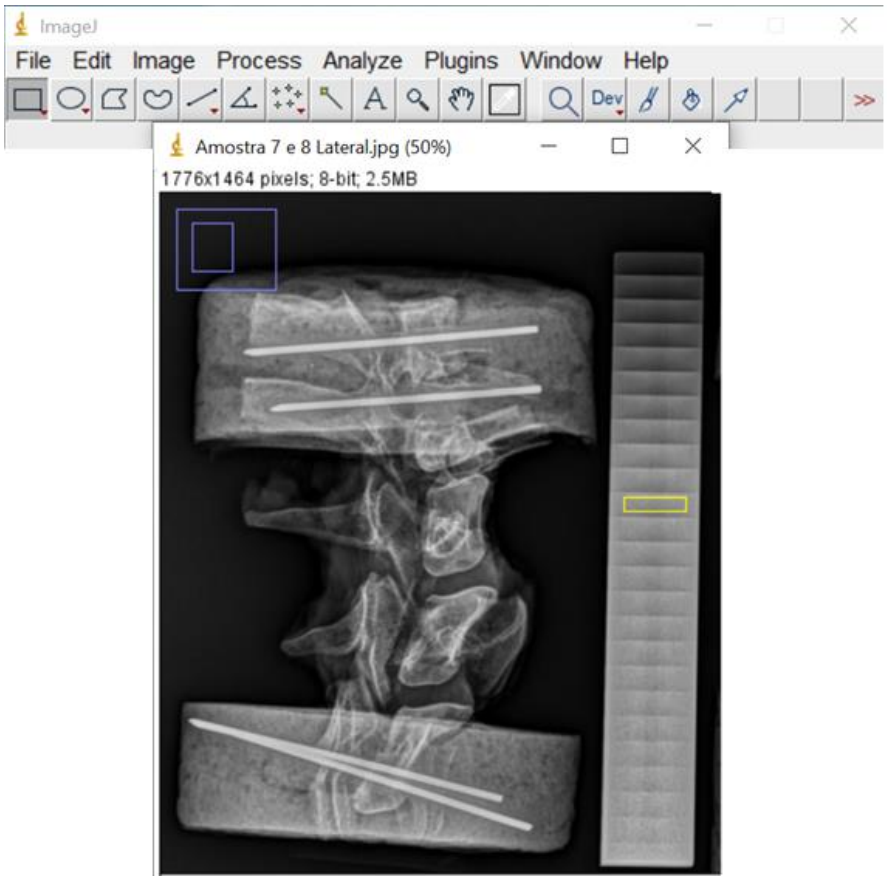
As imagens obtidas foram analisadas com auxílio do programa ImageJ 1,46r®. A área de interesse para a determinação da densidade óssea foram os corpos vertebrais de C6 e C7 na projeção lateral, região que representa a UVF tratada. A análise da densitometria não foi realizada com a imagem ventrodorsal devido a maior sobreposição de estruturas ósseas nessa projeção.

As imagens foram salvas no formato JPG para o processamento no programa. Com a ferramenta de seleção retangular, selecionou-se a área central de cada degrau da escala de alumínio e foi aferido sua tonalidade média de cinzas. A sequência das medições foi realizada

do 1º ao 25º degrau (Fig.8). Posteriormente, a ferramenta de seleção poligonal foi utilizada para selecionar as áreas de interesse (corpo vertebral de C6 e corpo vertebral de C7) e aferir sua tonalidade média de cinzas (Fig.9). Para cada imagem radiográfica foi feita a avaliação da tonalidade média de cinzas da escala de alumínio a fim de que cada espécime tivesse a sua própria escala padrão, evitando a utilização de uma escala única e possível viés em relação a pequenas variações de técnica que cada imagem pudesse apresentar.

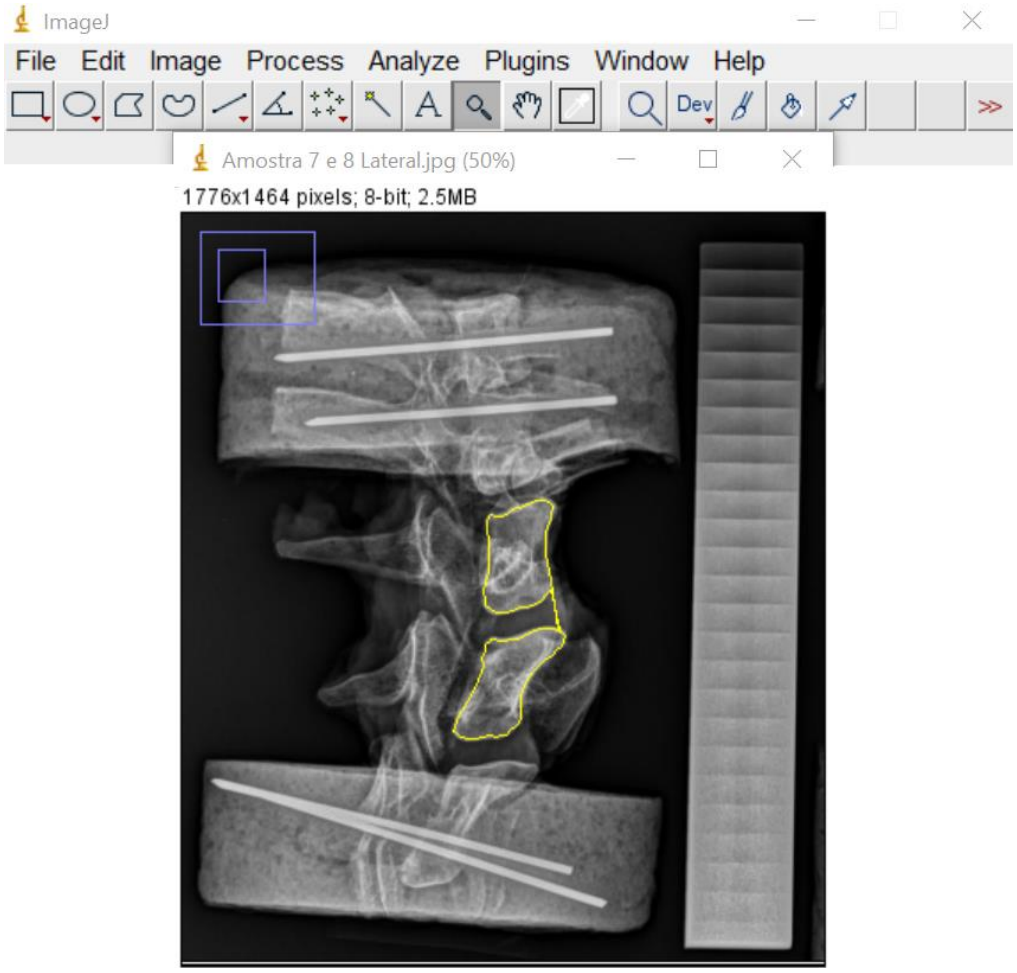
Os resultados obtidos foram armazenados em forma de tabela com os valores de tonalidade de cinza de cada degrau e tonalidade média da área de interesse. O valor obtido da área de interesse foi convertido em unidade de mmAl (milímetros de alumínio), a partir da tonalidade média de cinza, mediante a função “tendência” do software Microsoft Office Excel 365® (Fig.10).

Figura 8. Ferramenta de seleção retangular utilizada para aferir a tonalidade de cinza de cada degrau de alumínio do penetrômetro.



Fonte: Prado (2019)

Figura 9. Ferramenta de seleção poligonal utilizada para aferir a tonalidade média de cinza da área de interesse (corpo vertebral de C6 e corpo vertebral de C7).



Fonte: Prado (2019)

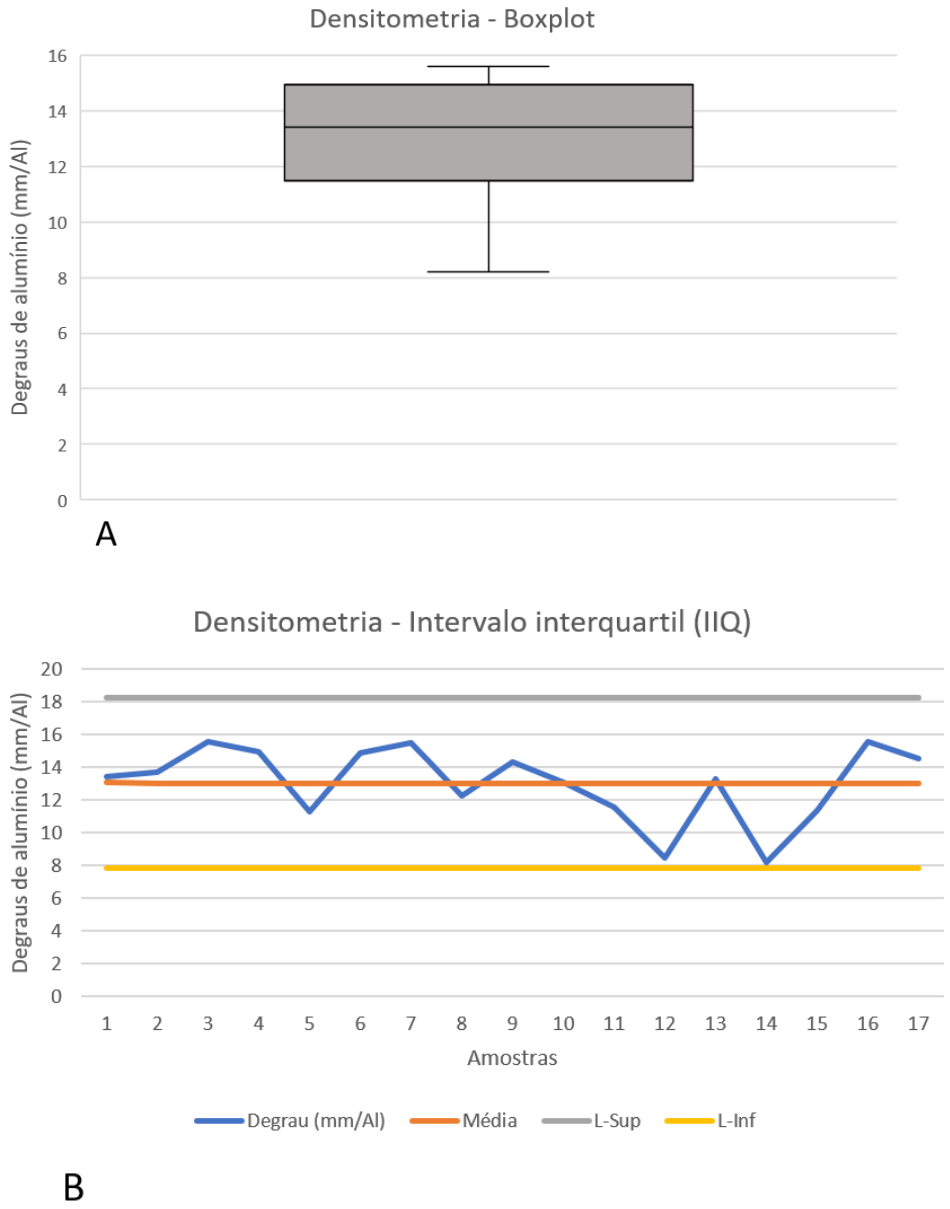
Figura 10. Tabela com os resultados de tonalidades de cinza dos degraus da escala e da área de interesse utilizados na fórmula de "tendência" do software Microsoft Office Excel 365®. A célula A27 (em amarelo) representa o resultado obtido após a aplicação da fórmula, indicando que a área de interesse possui densitometria de aproximadamente 12mmAl.

	A	B
1	Degrau de Alumínio	Tonalidade média de cinza
2	1	31.248
3	2	51.803
4	3	64.216
5	4	78.667
6	5	90.882
7	6	101.475
8	7	114.585
9	8	124.442
10	9	138.512
11	10	142.359
12	11	144.828
13	12	145.563
14	13	147.488
15	14	147.731
16	15	147.996
17	16	150.211
18	17	151.410
19	18	151.682
20	19	152.327
21	20	153.175
22	21	153.874
23	22	154.635
24	23	156.660
25	24	159.574
26	25	166.793
27	12,24309411	124.458

Fonte: Prado (2019)

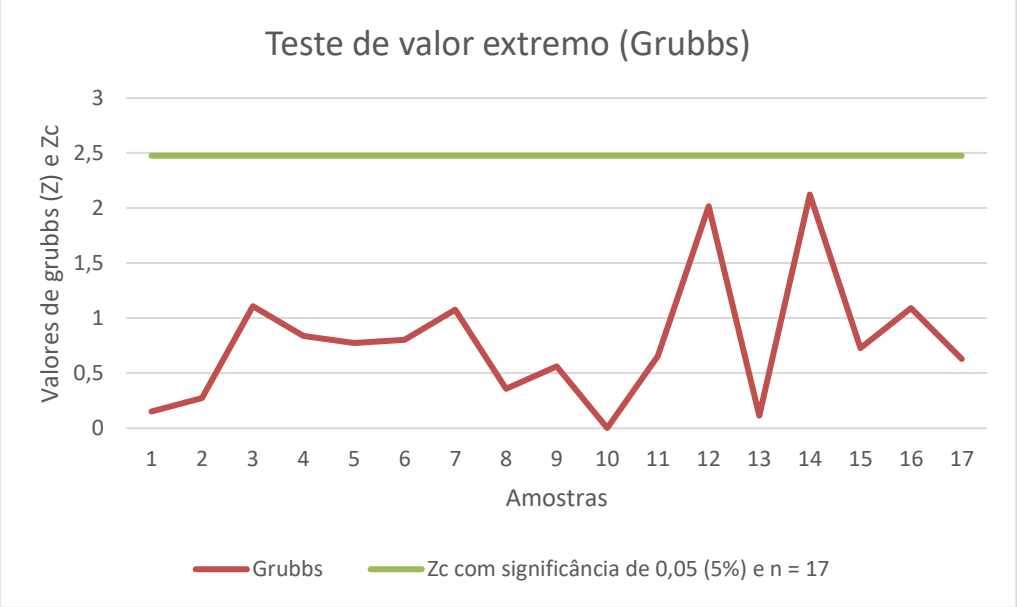
Após a análise da densitometria radiográfica dos 17 espécimes, o resultado foi submetido à análise estatística afim de verificar a homogeneidade das amostras por meio da identificação de valores atípicos (*outliers*). Os dados obtidos foram analisados por meio do intervalo interquartil (IIQ) e pelo teste de valor extremo (Grubbs) (Fig. 11 e 12). Após a aplicação dos testes não foram verificados valores atípicos entre os espécimes avaliados.

Figura 11. Intervalo interquartil referente aos valores em mm/Al dos espécimes avaliados expressos por gráfico de caixa estreita (boxplot) em A, e por um gráfico linear em B.



Fonte: Prado (2019)

Figura 12. Teste de valor extremo (Grubbs), referente aos valores em mm/Al dos espécimes avaliados, expresso por um gráfico linear.



Zc: Valor crítico baseado na distribuição de Z

Fonte: Prado (2019)

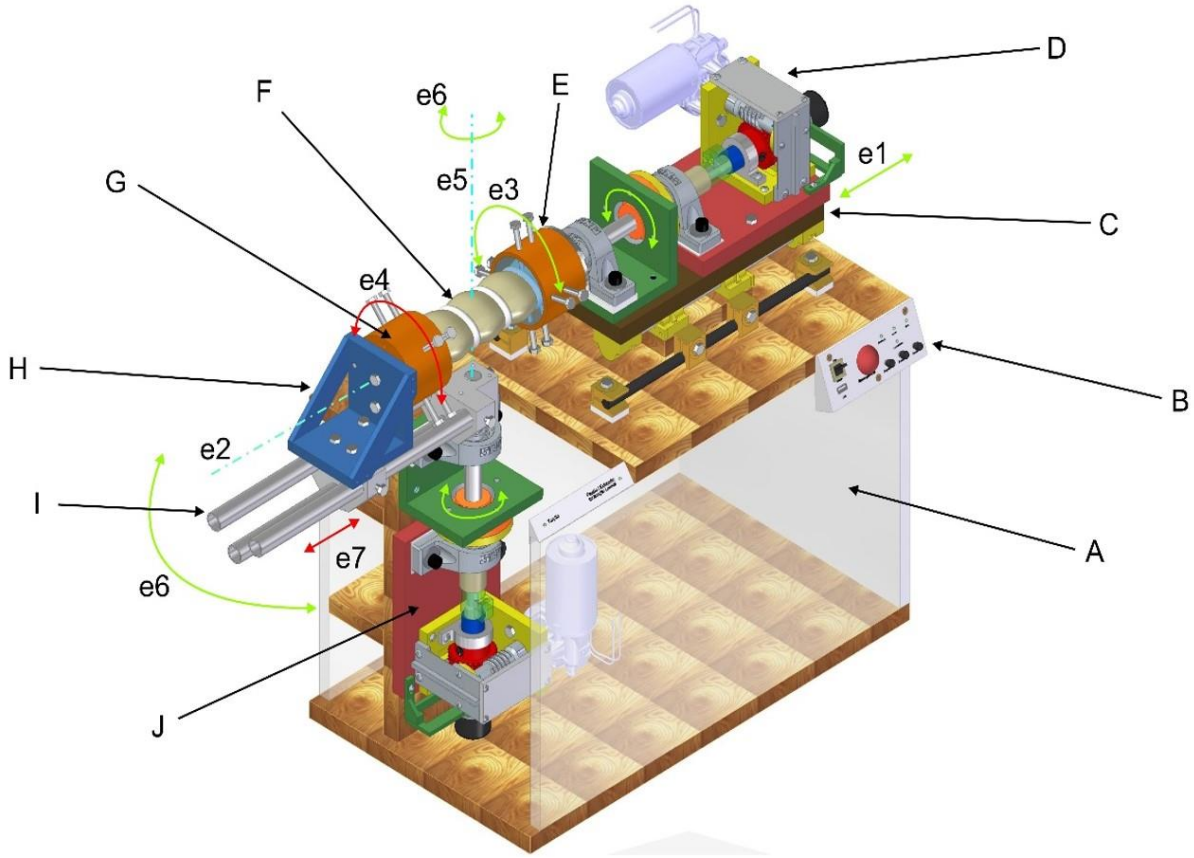
APÊNDICE B

DISPOSITIVO DE ENSAIOS BIOMECÂNICOS

APÊNDICE B - Dispositivo de ensaios biomecânicos

O dispositivo de ensaios biomecânicos utilizado foi desenvolvido no Laboratório de Biomecânica do Laboratório de Investigação Médica (LMI – 41 IOT – HC/FMUSP) tem como função a realização de ensaios não destrutivos de flexão-extensão, inclinação lateral e torção, em espécimes de colunas caninas, com momentos de torção e flexão de até 9 N.m (Fig.13).

Figura 13. Máquina de ensaios de torção ou de extensão/flexão ou de inclinação lateral. Onde: A- Caixa de sustentação, B- Painel de controle, C- Base deslizante, D- Conjunto motriz de torção, E- Garra tubular motriz, F- Segmento de coluna, G- Garra tubular fixa, H- Apoio ajustável, I: Braço motriz e J- Conjunto motriz de flexão/extensão ou inclinação lateral. Eixos, translações e rotações: e1-grau de liberdade translacional da base deslizante, e2- eixo de torção da coluna, e3- grau de liberdade rotacional da garra tubular motriz, e4- ajuste rotacional da garra tubular fixa (0º para flexão/extensão ou 90º para inclinação lateral), e5- eixo de flexão/extensão ou inclinação lateral da coluna, e6- grau de liberdade rotacional do braço motriz.



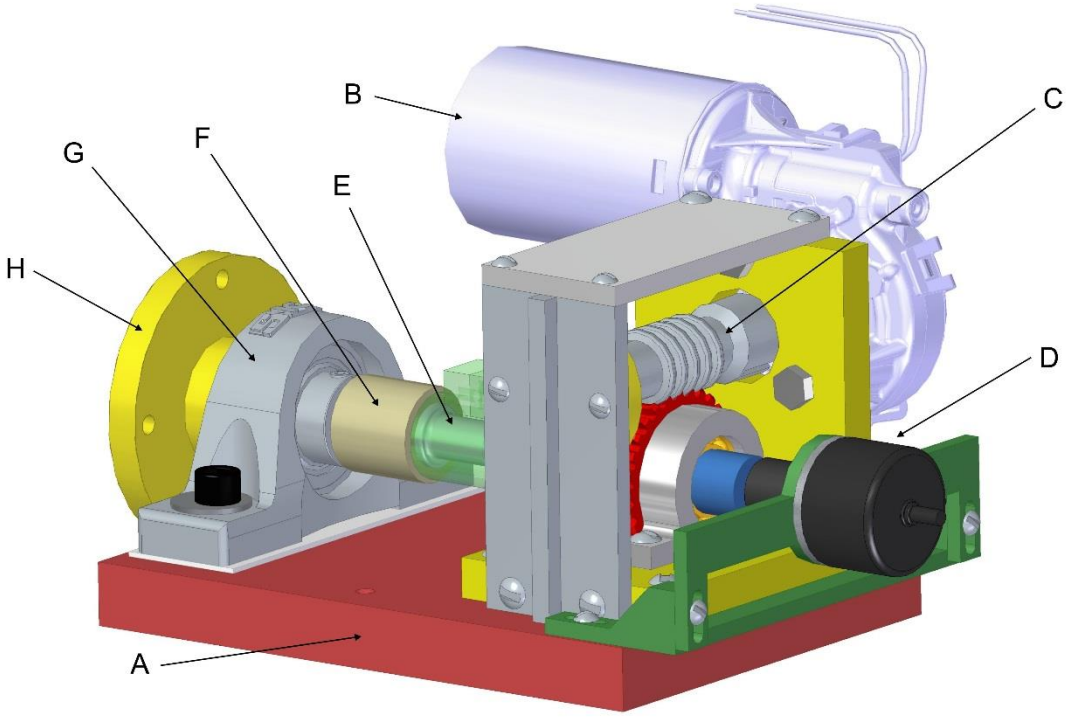
Fonte: Autorizado por Pereira (2019)

O espécime a ser testado (Fig.13-F) é fixado por meio da utilização de resina acrílica (polimetilmetacrilato) às garras tubulares, denominadas como garra tubular motriz (Fig.13-E) e garra tubular fixa (Fig.13-G), e permanece alinhado com o eixo de torção do dispositivo

(Fig.13-e2). Em seguida a garra tubular motriz é acoplada à unidade de aplicação do torque, denominado de conjunto motriz de torção (Fig.12-D).

Existem dois componentes motriz iguais sendo um posicionado na horizontal, para os testes de torção axial, e um na vertical (Fig.13-J) para os testes de flexão-extensão e inclinação lateral. O componente motriz é constituído, basicamente, por um motor elétrico (Motor Bosch, Modelo F 006 WMO 310, 24V e 46W) (Fig.14-B), o qual é responsável pela aplicação da carga, por um torquímetro construído no laboratório de Biomecânica e previamente calibrado[1] (Fig.14-E), e por um encoder óptico rotativo (Encoder Autonics, Modelo E40S6 1800, Resolução 0,05 graus) (Fig.14-D) que tem a função de registrar o deslocamento angular do eixo de transmissão (Fig.14-F).

Figura 14 - Desenho esquemático do conjunto motriz, onde: A- Base, B- Motor elétrico, C- Redutor, D- Encoder óptico, E- Torquímetro, F- Eixo de transmissão G- Mancal com rolamento, H- Flange motriz.



Fonte: Autorizado por Pereira (2019)

A garra tubular motriz e o conjunto motriz são conectados a base deslizante (Fig.13-C), que possibilita movimentos relativos de encurtamento (Fig.13-e1) do espécime durante o ensaio de torção.

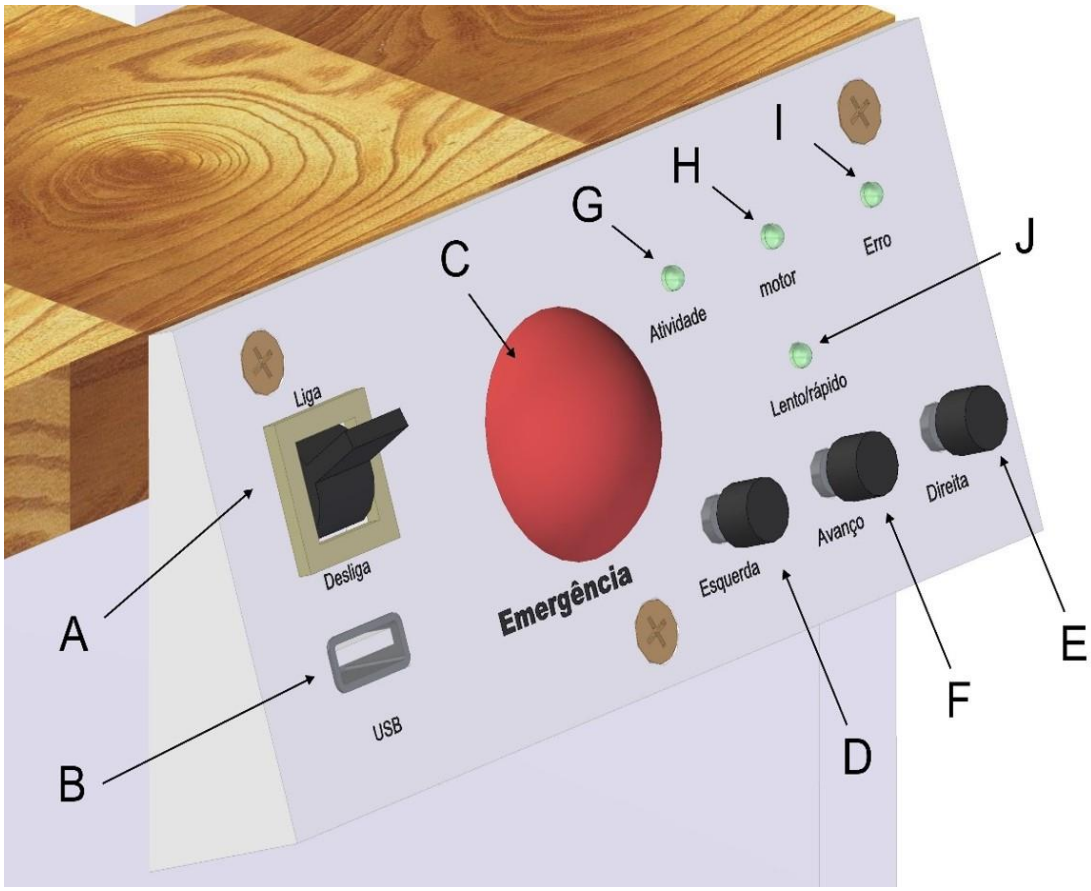
Para a realização dos ensaios de flexão-extensão o sistema é acionado para que os testes sejam conduzidos pelo conjunto motriz posicionado na vertical. A garra tubular motriz é travada

1 Calibrado por um torquimetro de referência Lorenz Messtechnik, Modelo DV-14 de ±12N.m

para impedir qualquer movimento de rotação. Durante o ensaio de flexão-extensão o espécime é mantido na posição dos testes de torção e inclinação lateral, evitando assim manipulação e possível desalinhamento do dispositivo.

O painel de controle do dispositivo (Fig.15) possui uma chave geral para ligar e desligar o dispositivo (Fig.14-A), uma entrada de conexão para cabos USB (Fig.15-B), botões que permitem ajustes por meio da movimentação do motor no sentido horário ou anti-horário (Fig.15-D e E), e um botão de emergência que pode ser acionado para que o motor pare imediatamente (Fig.15-C). É possível selecionar duas velocidades para o movimento de ajuste do motor (Fig.15-F). Indicadores de LED demonstram a atividade do dispositivo, a atividade do motor, erros encontrados e a velocidade do motor (Fig.15-G,H,I e J), respectivamente.

Figura 15. Painel de controle. Onde: A- Chave geral liga/desliga, B-Conector USB, C- Chave de emergência, D-Botão gira motor à direita, E- Botão gira motor à esquerda, F- Botão de seleção de velocidade do motor, G- LED de atividade, H- LED indicador de motor acionado, I- LED de erro e J-LED indicador de velocidade do motor (lenta ou rápida).

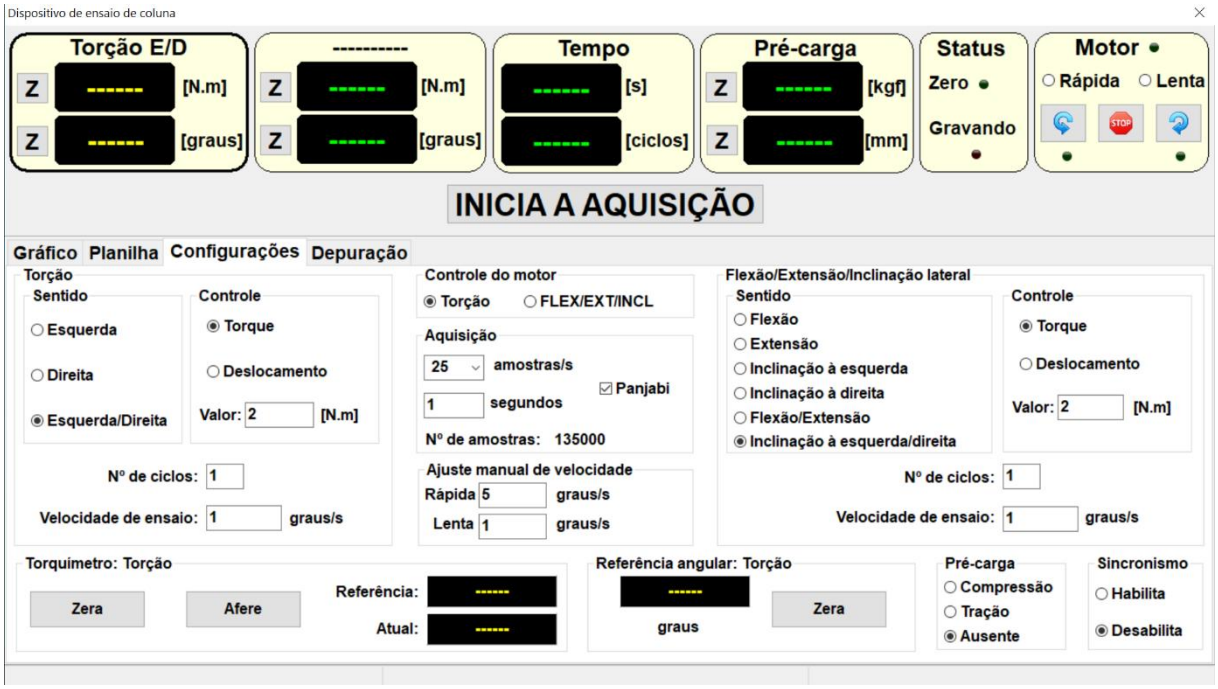


Fonte: Autorizado por Pereira (2019)

O dispositivo é controlado por dois circuitos eletrônicos microprocessados (Arduino Micro Pro, Modelo Atmega16U4, 8bits Atmel) que acionam o motor e efetuam leituras do torquímetro e do encoder óptico. Estes dados são transmitidos ao computador via USB. Um

programa de aquisição (Desenvolvimento em Free-Pascal /Windows 64 bits), executado no computador, é responsável por coletar os dados gerados durante os testes, os quais são eles, o torque e o deslocamento angular. A aquisição destes parâmetros é realizada a uma taxa de até 25 amostras por segundo. A velocidade de ensaio pode ser ajustada na faixa de 0,5 grau/s a 8 graus/s e o torque máximo é de 9 N.m (Fig.16).

Figura 16 - Programa de aquisição do dispositivo. Painel de configurações em que é determinado o padrão do ensaio realizado, baseado no eixo de movimento, valores pré-definidos de torque ou deslocamento, número de ciclos, velocidade do ensaio e número de amostras registradas por segundo.



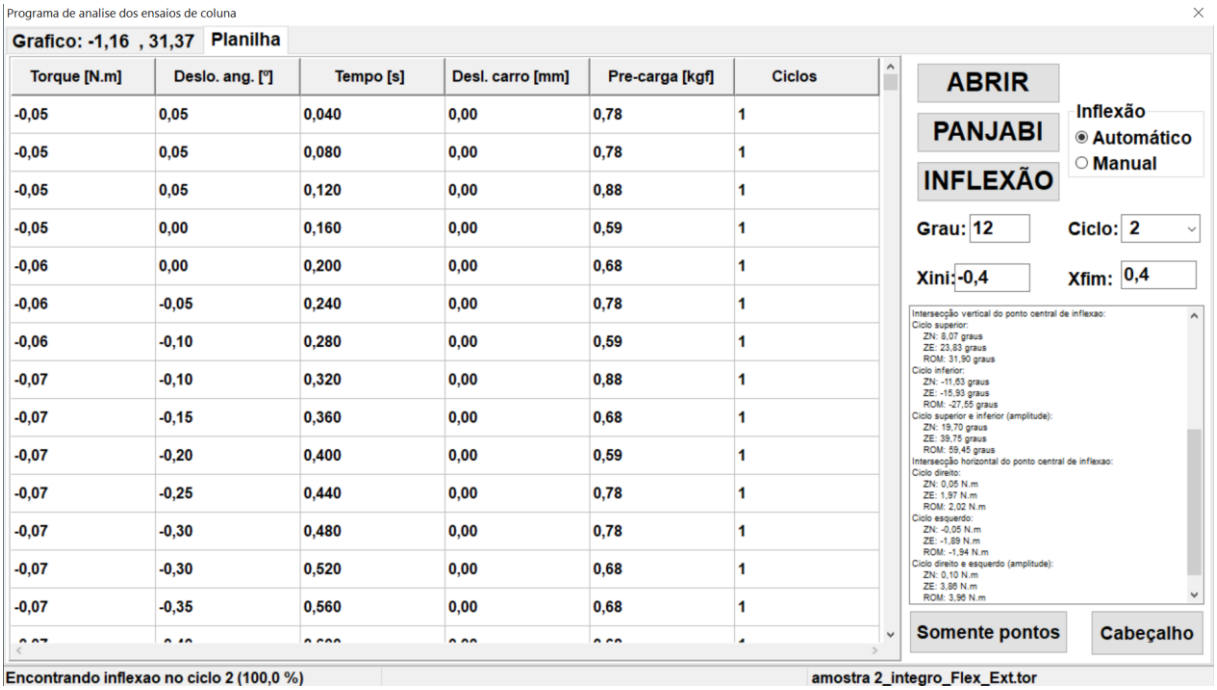
Fonte: Prado (2019)

Após a aquisição dos ensaios os resultados são transferidos para um programa de análise (Desenvolvimento em Free Pascal/Windows 64 bits) e executado no computador. Este programa é responsável por analisar os dados registrados em forma de planilha (Fig.17) e transformá-los em um gráfico que representa o padrão de movimento apresentado pelo espécime durante o ensaio (Fig.18). A análise é realizada por meio de um teste de inflexão. Este teste analisa os valores registrados durante os ensaios e por meio do método de regressão polinomial é responsável por gerar os valores dos parâmetros desejados.

O método consiste em encontrar em cada curva, o ponto onde a tangente seja mais inclinada possível (mais vertical), com os dois pontos obtidos (Fig. 18- pontos amarelos) é traçada uma linha entre eles calculando-se um ponto médio (Fig.18- ponto vermelho), a partir

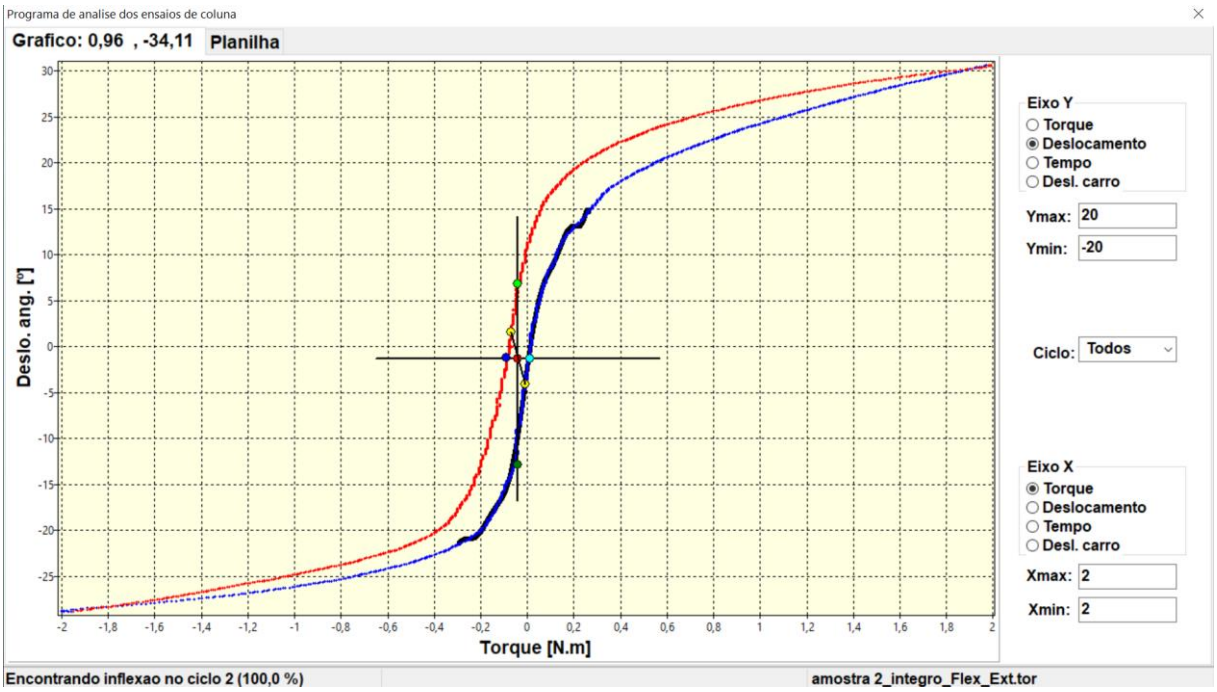
desse ponto é traçada uma linha vertical onde os pontos da zona neutra são determinados pela intersecção da linha vertical com as duas curvas (Fig.18- pontos verdes claro e escuro).

Figura 17. Programa de análise. Resultados em forma de planilha após um ensaio de flexão extensão. No quadro localizado no canto inferior direito é possível verificar os resultados obtidos após análise pelo método de inflexão.



Fonte: Prado (2019)

Figura 18. Programa de análise. Gráfico gerado após análise pelo método de inflexão. Verifica-se os pontos de coloração verde (claro e escuro) que determinam a amplitude da zona neutra da amostra analisada.



Fonte: Prado (2019)

APÊNDICE C

INVASÃO DO CANAL VERTEBRAL

APÊNDICE C – Invasão do canal vertebral

Tabela 6. Dados clínicos e ocorrência de invasão do canal vertebral dos 13 espécimes utilizados para a realização dos ensaios biomecânicos.

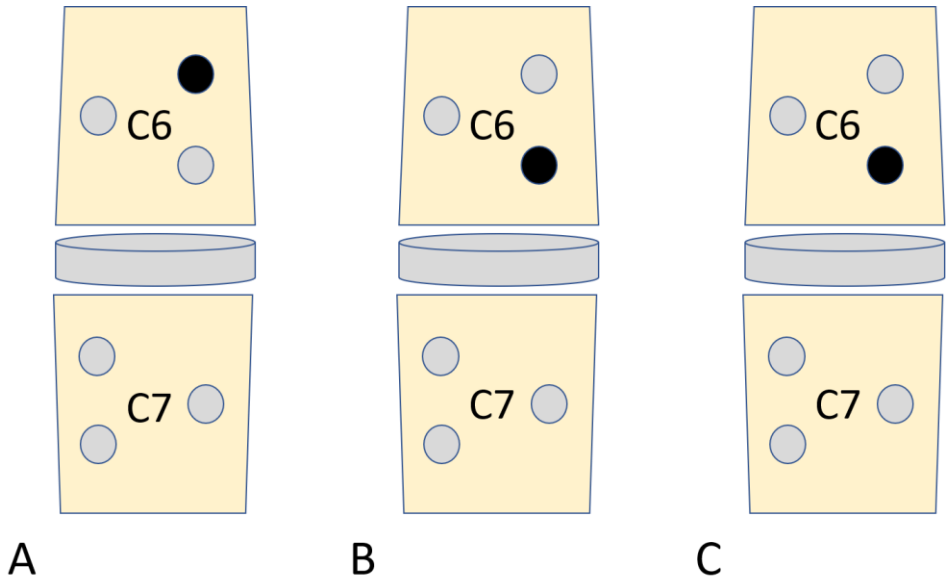
Animal	**Raça**	**Peso (Kg)**	**Sexo**	**Invasão do canal vertebral**	**Vertebra da invasão/Parafuso**
1	SRD	32	Fêmea	Não	-
2	Labrador	21	Macho	Não	-
3	Pitbull	27	Macho	Não	-
4	Labrador	33	Macho	Não	-
5*	SRD	22	Macho	*	-
6	Pitbull	23	Fêmea	Não	-
7	Dalmata	25	Macho	Não	-
8*	SRD	22,5	Macho	*	-
9	Rottweiler	33	Macho	Não	-
10*	SRD	24	Fêmea	*	-
11	Pitbull	32	Macho	Sim	C6/Parafuso cranial esquerdo
12	Husky Siberiano	21	Macho	Não	-
13	Bull Terrier	28	Macho	Não	-
14*	SRD	21	Fêmea	*	-
15	Golden Retriever	35	Fêmea	Sim	C6/Parafuso caudal esquerdo
16	Labrador	28	Fêmea	Sim	C6/Parafuso caudal esquerdo
17	Rottweiler	27	Fêmea	Não	-

SRD – sem raça definida

* - espécimes utilizados para os testes-piloto

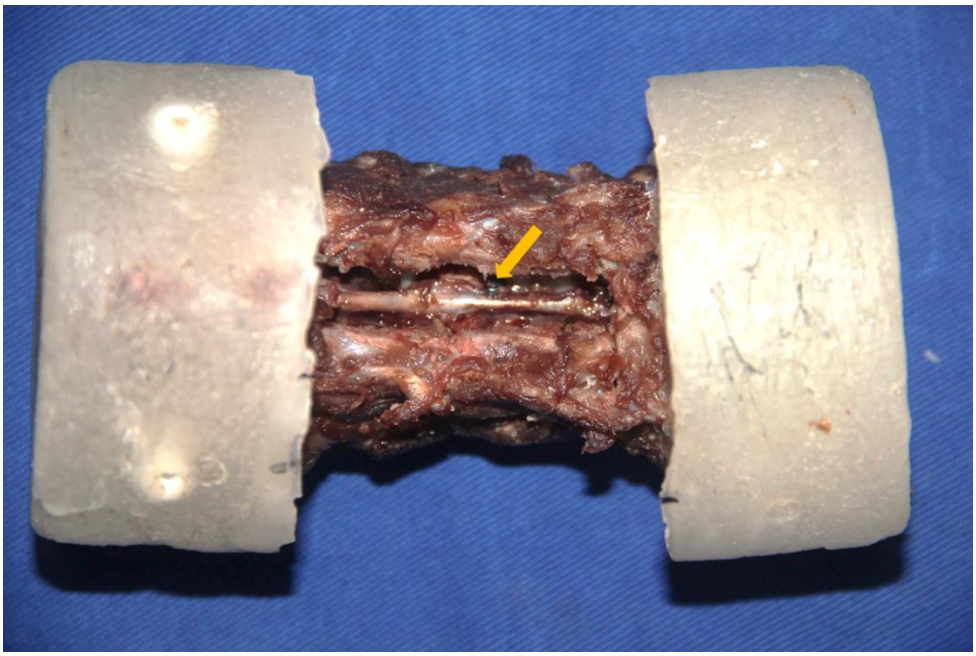
Fonte: Prado (2019)

Figura 19. Desenho esquemático da vista ventral das vertebras estabilizadas e da localização dos parafusos que invadiram o canal vertebral (círculo preto) dos espécimes estudados. Amostras 11, 15 e 16 (A, B e C, respectivamente).



Fonte: Prado (2019)

Figura 20. Imagem do espécime 16. Invasão do parafuso caudal esquerdo de C6 verificada após procedimento de laminectomia dorsal e remoção do tecido medular e seio venoso do assoalho do canal vertebral.



Fonte: Prado (2019)

4 Considerações gerais

4 CONSIDERAÇÕES/CONCLUSÃO (GERAL)

Atualmente, o tratamento cirúrgico ideal para cães com espondilomielopatia cervical ainda não foi definido. A etiologia desconhecida e uma complexa fisiopatologia tornam o tratamento dessa doença desafiador. É presumido que cães que apresentam lesões dinâmicas se beneficiam dos procedimentos de distração e estabilização vertebral, que além de permitir o aumento do diâmetro do canal vertebral e reduzir os efeitos compressivos no tecido medular, tem o objetivo de promover a fusão das vértebras tratadas, a fim de evitar a falha dos implantes utilizados e a recidiva ou agravamento do comprometimento neurológico. Todavia esse objetivo foi raramente verificado na literatura em medicina veterinária, o que denota a necessidade de outros estudos como os que aqui foram apresentados.

Os estudos nesse trabalho tiveram como objetivo contribuir para o melhor entendimento clínico e biomecânico da fixação por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras, assim como o benefício de sua associação com outros dispositivos que visam o aumento da estabilidade do segmento vertebral cervical caudal, como os distratores intervertebrais e os conectores transversais apresentados.

No relato de casos da utilização desta técnica em cinco cães, observamos a viabilidade e versatilidade deste método no tratamento da EMC-DA, porém há limitações que impedem a conclusão sobre sua efetividade no tratamento dessa doença. A ausência de sinais de fusão vertebral é o principal fator limitante para determinarmos a eficiência dessa técnica. Sabe-se que as baixas taxas de fusão vertebral são frequentemente atribuídas a falta de estabilidade no segmento vertebral tratado. Essa suposição reforça a importância de buscar novas técnicas ou novos dispositivos que aumentem a rigidez dos métodos de estabilização vertebral já existentes, assim como feito no segundo estudo apresentado.

A análise biomecânica do incremento da estabilidade proporcionado pela utilização de conexões transversais já foi estudada em diferentes configurações que variam em relação ao número de barras utilizadas, ao comprimento da estabilização, posicionamento e orientação das barras, assim como diferentes tipos de materiais e modelos.

Nosso estudo apresentou resultados semelhantes a literatura. O aumento da rigidez dos espécimes estabilizados com ou sem barra transversal foi significativamente superior ao grupo de espécimes íntegros, sem a adição de implante, entretanto não houve diferença entre os grupos estabilizados. Nesse estudo sugere-se que a barra transversal pode não ser necessária para que se atinja a estabilidade desejada em estabilizações curtas do segmento vertebral cervical caudal de cães. Porém, como dito anteriormente, é importante salientar que todos os estudos

apresentados possuem limitações que devem ser consideradas antes de se estabelecer conclusões definitivas em relação aos benefícios desse dispositivo de conexão.

Sendo assim, deve ser enfatizado a importância da realização de novos estudos que visam a melhor compreensão desta técnica de distração e estabilização vertebral, assim como suas possíveis variações e associações em diferentes cenários, no âmbito clínico e biomecânico.

5 REFERÊNCIAS GERAIS

ADAMO, P. F. Cervical arthroplasty in two dogs with disk-associated cervical spondylomyelopathy. **Small Animals/Exotic**, v. 239, n. 6, p. 208-217, 2011.

ADAMO, P.F. et al. 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. **Veterinary Surgery**, v. 36, n. 8, p. 729-741, 2007.

AGNELLO, K. A. et al. Intervertebral biomechanics of locking compression plate monocortical fixation of the canine cervical spine. **Veterinary Surgery**, v. 39, n. 8, p. 991-1000, 2010.

AOUDE, A. A. et al. Methods to determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review. **European Spine Journal**, v. 24, p. 990-1004, 2015.

BERGMAN, R. L. et al. Cervical spinal locking plate in combination with cortical ring allograft for a one level fusion in dogs with cervical spondylotic myelopathy. **Veterinary Surgery**, v. 37, n. 6, p. 530-536, 2008.

BRUECKER, K. A.; SEIM, H. B.; BLASS, C. E. Caudal cervical spondylomyelopathy: decompression by linear traction and stabilization with Steinmann pins and polymethyl methacrylate. **Journal of the American Animal Hospital Association**, v. 25, n. 6, p. 677-683, 1989.

BUSSCHER, I. et al. In vitro biomechanical characteristics of the spine. A comparison between human and porcine spinal segments. **Spine**, v.35, p. 35-42, 2010.

CHAMBERS, J.N.; OLIVER, J. E.; BJORLING, D. E. Update on ventral decompression for caudal cervical disk herniation in Doberman Pinschers. **Journal of the American Animal Hospital Association**, v. 22, n. 6, p. 775-778, 1986.

CHAMBERS, J.N. et al. Ventral decompression for caudal cervical disc herniation in large and giant breed dogs. **Journal of the American Medical Association**, v. 180, p. 410-414, 1982.

DA COSTA, R. C. Cervical spondylomyelopathy (wobbler syndrome) in dogs. **Veterinary Clinics of North America**. **Small Animal Practice**, v. 40, n. 5, p. 881-913, 2010.

DA COSTA, R.C. Pathogenesis of cervical spondylomyelopathy: lessons from recent years. In: **2007 ACVIM FORUM**, 2007, Seattle. ACVIM Proceedings, Lakewood, 2007. p. 318-320.

DA COSTA, R.C. et al. Morphologic and morphometric magnetic resonance imaging features of Doberman pinscher dogs with and without clinical signs of cervical spondylomyelopathy. **American Journal of Veterinary Research**, v. 67, n. 9, p. 16011612, 2006.

DA COSTA, R.C. et al. Comparison of magnetic resonance imaging and myelography in 18 doberman pinscher dogs with cervical spondylomyelopathy. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 47, n. 6, p. 523-531, 2006.

DAI, L. Disc degeneration and cervical instability. Correlation of magnetic resonance imaging with radiography. **Spine,** v. 23, p. 1734-1738, 1998.

DE DECKER, S. et al. Surgical treatment of disk-associated Wobbler syndrome by a distractable vertebral titanium cage in seven dogs. **Veterinary Surgery**, v. 40, n. 5, p. 544-554, 2011.

DE DECKER, S. et al. Current insights and controversies in the pathogenesis and diagnosis of disc-associated cervical spondylomyelopathy in dogs. ***Veterinary Record***, v. 171, p. 531-537, 2012.

DE DECKER, S. et al. Evolution of clinical signs and predictors of outcome after conservative medical treatment for disk-associated cervical spondylomyelopathy in dogs. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 240, p. 848-857, 2012.

DE RISIO, L. et al. Dorsal laminectomy for caudal cervical spondylomyelopathy: postoperative recovery and long-term follow-up in 20 dogs. **Veterinary Surgery**, v. 31, n. 5, p. 418-427, 2002.

DEWEY, C.W.; DA COSTA, R.C. Mielopatias: doenças da medula espinhal. In: DEWEY, C.W.; DA COSTA, R.C. **Neurologia canina e felina**: guia prático. 1. ed. São Paulo: Editora Guará Ltda, 2017. p. 379-462.

DIXON, B.; TOMLINSON, J. L.; KRAUS, K. H. Modified distraction-stabilization techniques using an interbody polymethyl methacrylate plug in dogs with caudal cervical spondylomyelopathy. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 208, n. 1, p. 61-68, 1996.

GRAUER, J. N.; PANJABI, M. M. Biomecânica clínica relevante da coluna. In: VACCARO, A. R.; BETZ, R. R.; ZEIDMAN, S. M. **Cirurgia da coluna** - princípios e prática. 1. ed. Rio de Janeiro: Di Livros, 2007. p. 35-42.

HENDERSON, F. C. et al. Stretch-associated injury in cervical spondylotic myelopathy: new concept and review. **Neurosurgery**, v. 56, n. 5, p. 1101-1113, 2005.

HETTLICH, B. F. et al. Effect of an intervertebral disk spacer on stiffness after monocortical screw/polymethylmet acrylatefixation in simulated and cadaveric canine cervical vertebral columns. **Veterinary Surgery**, v. 43, n. 8, p. 988-994, 2014.

HETTLICH, B.F. et al. Biomechanical Comparison Between Bicortical Pin and Monocortical Screw/Polymethylmethacrylate Constructs in the Cadaveric Canine Cervical Vertebral Column. **Veterinary Surgery**, v. 42, n. 6, p. 693-700, 2013.

HETTLICH, B.F.; FOSGATE, G. T.; LITSKY, A. S. Biomechanical Comparison of 2 Veterinary Locking Plates to Monocortical Screw/Polymethylmethacrylate Fixation in Canine Cadaveric Cervical Vertebral Column. **Veterinary Surgery**, v. 46, n. 1, p. 95-102, 2016.

ICHIHARA, K. et al. Mechanism of the spinal cord injury and the cervical spondylotic myelopathy: new approach based on the mechanical features of the spinal cord white and gray matter. **Journal of Neurosurgery**, v. 99, p. 278-285, 2003. Supplement 3.

KOEHLER, C.L. et al. Effect of a ventral slot procedure and of smooth or positive-profile threaded pins with polymethylmethacrylate fixation on intervertebral biomechanics at treated and adjacente canine cervical vertebral motion units. **American Journal of Veterinary Research**, v. 66, p. 678-687, 2005.

KOLLER, H. et al. Cervical anterior transpedicular screw fixation (ATPS) - Part II. Accuracy of manual insertion and pull-out strength of ATPS. **European Spine Journal**, v. 17, n. 4, p. 539-555, 2008a.

KUMARESAN, S. et al. Contribution of disc degeneration to osteophyte formation in the cervical spine: a biomechanical investigation. **Journal of Orthopaedic Research**, v. 19, n. 5, p. 977-984, 2001.

LEVINE, D. N. Pathogenesis of cervical spondylotic myelopathy. **Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry**, v. 62, n. 4, p. 334-340, 1997.

LIM, T.H. et al. Biomechanics of transfixation in pedicle screw instrumentation. **Spine**, v. 21, n. 19, p. 2224-2229, 1996.

MARINHO, P.V.T. **Comparação biomecânica ex vivo da estabilização vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de pinos bicorticais e polimetilmetacrilato ou parafusos poliaxiais monocorticais associados ou não a distrator intersomático**. 2017. 155 fls. Tese (Doutorado em Ciências) - Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2017.

MARINHO, P.V.T. et al. Placement of vertebral screws for spinal stabilization and distraction in a dog with disc-associate cervical spondylomyelopathy: case report. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 70, p. 1427-1432, 2018.

MCKEE, W.M.; SHARP, N.J. Cervical spondylopathy. In: **Textbook of Small animal Surgery.** 2 ed. D. H. Slatter. WB Saunders. 2003, p. 1180-1193.

MCKEE, W.N. et al. Vertebral distractionfusion for cervical spondylopathy using a screw and double washer technique. **Journal of Small Animal Practice**, v. 31, n. 1, p. 21-26, 1990.

MCKEE, W.M.; PINK, J.J.; GEMMILL. Cement plug technique for the management of disc-associated cervical spondylopathy in 52 Dobermann Pinscher dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 29, p. 195-201, 2016.

MIELE, V.J.; BHALLA, T.; JONES, G.A.; BENZEL, E.C. Concepts and mechanisms of spinal biomechanics. In:_____. **Youmans neurological surgery**. 6a edição. Philadelphia: Elsevier/Saunders, 2011. p. 2700-2710.

OLERUD, S.; KARLSTROM, G.; SJOSTROM, L. Transpedicular fixation of thoracolumbar vertebral fractures. **Clinical Orthopaedics**, v. 227, p. 44-51, 1988.

PANJABI, M. M.; YUE, J. J.; DVORAK, J. et al. Cervical spine kinematics and clinical instability. In: PANJABI, M. M.; YUE, J. J.; DVORAK, J. **The Cervical Spine Research Society**. The cervical spine. 4. ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins, 2005. p. 55–78.

PANJABI, M.M. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. **Journal of Spinal Disorders and Techniques**, v. 5 n. 4, p. 390-397, 1992.

PUNO, R. M.; BECHTOLD, J. E. Biomechanical analysis of transpedicular rod systems. A preliminary report. **Spine**, v. 16, n. 8, p. 973-980, 1991.

RUSBRIDGE, C. et al. Comparison of two surgical techniques for the management of cervical spondylomyelopathy in Dobermans. **Journal of Small Animal Practice**, v. 39, n. 9, p. 425-431, 1998.

SEIM H. B. Cirurgia da coluna cervical. In: FOSSUM, T. W. **Cirurgia de pequenos Animais**. 3. ed. São Paulo: Elsevier Mosby, 2007. p. 1402-1459.

SHAMIR, M. H.; CHAI, O.; LOEB, E. A method for intervertebral space distraction before stabilization combined with complete ventral slot for treatment of discassociated wobbler syndrome in dogs. **Veterinary Surgery**, v. 37, n. 2, p.186-192, 2008.

SHARP, N. J. H.; WHEELER, S. J. Cervical spondylomyelopathy. In: SHARP, N. J. H.; WHEELER, S. J. **Small Animal Spinal Disorders**. Diagnosis and Surgery. 2nd ed. St Louis, EUA: Elsevier Mosby, 2005. p. 211-246.

SMOLDERS, L. A. et al. Pedicle screw-rod fixation of the canine lumbosacral junction. **Veterinary Surgery**, v. 41, n. 6, p. 720-732, 2012.

SOLANO, M.A.; FITZPATRICK, N.; BERTRAN, J. Cervical distraction-stabilization using an intervertebral spacer screw and String-of-Pearl (SOP^{TM}) plates in 16 dogs with disc-associated wobbler syndrome. **Veterinary Surgery**, v. 44, p. 627-641, 2015.

STEFFEN, F.; VOSS, K.; MORGAN, J.P. Distraction-fusion for caudal cervical spondylomyelopathy using an intervertebral cage and locking plates in 14 dogs. **Veterinary Surgery**, v. 40, p. 743-752, 2011.

TELLEGEN, A. R. et al. Pedicle screwrod fixation: a feasible treatment for dogs with severe degenerative lumbosacral stenosis. **BMC Veterinary Research**, v. 7, n. 11, p. 299, 2015.

TROTTER, E. J. Cervical spine locking plate fixation for treatment of cervical spondylotic myelopathy in large breed dogs. **Veterinary Surgery**, v. 38, n. 6, p. 705718, 2009.

VANGUNDY, T. Canine Wobbler syndrome, part 1. Pathophysiology and diagnosis. **Compendium on Continuing Education for the Practising Veterinarian**, v. 11, p. 144-157, 1989.

VANGUNDY, T.E. Disc-associated wobbler syndrome in the dobermann. **Veterinary Clinics of North America**, v. 18, p. 667-696, 1988.

VOSS, K.; STEFFEN, F.; MONTAVON, P. M. Use of the ComPact UniLock System for ventral stabilization procedures of the cervical spine: a retrospective study. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 19, n. 1, p. 21-28, 2006.

WHITE, A. A. III; PANJABI, M. M. Biomechanical considerations in the surgical management of cervical spondylotic myelopathy. **Spine**, v. 13, n. 7, p. 856-860, 1988.

YANG, H. et al. Effects of conventional and slanted ventral slot procedures on the biomechanical behavior of the C5-C6 vertebral motion unit in dogs. **American Journal of Veterinary Research**, v. 77, p. 846-853, 2016.

YOUKILIS, A.S. et al. Stereotatic navigation for placement of pedicle screws in the thoracic spine. **Neurosurgery**, v. 48, n. 4, p. 771-778, 2001.

6 ANEXO A

DECLARAÇÃO DE COAUTORIA

ANEXO A – Declaração de coautoria

Universidade de São Paulo
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

DECLARAÇÃO DE COAUTORIA

Nós, coautores do trabalho intitulado: "**Distração-estabilização vertebral por meio de parafusos poliaxias e distrator intervertebral em cães com espondilomielopatia cervical disco-associada: relato de casos**", afirmamos estar cientes da utilização deste trabalho pelo aluno Leonardo Oliveira de Castro Prado, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Clínica Cirúrgica Veterinária, Nº USP: 10471631, e afirmamos que ele não será utilizado em nenhuma outra defesa de Tese ou Dissertação.

Gabriel Antonio Covino Diema

André Luis do Valle De Zoppa

Paulo Vinicius Tertuliano Marinho

Cassio Ricardo Auada Ferrigno

São Paulo, 13/12/2019

Universidade de São Paulo
Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia

DECLARAÇÃO DE COAUTORIA

Nós, coautores do trabalho intitulado: "**Comparação biomecânica *ex vivo* da estabilização bilateral da coluna vertebral cervical caudal de cães conferida por meio de parafusos poliaxiais monocorticais e barras conectoras associados ou não a barra transversal**", afirmamos estar cientes da utilização deste trabalho pelo aluno Leonardo Oliveira de Castro Prado, Mestrando do Programa de Pós-Graduação em Clínica Cirúrgica Veterinária, Nº USP: 10471631, e afirmamos que ele não será utilizado em nenhuma outra defesa de Tese ou Dissertação.

Gabriel Antonio Covino Diam

André Luis do Valle De Zoppa

Leandro Santos Lopes

Cassio Ricardo Auada Ferrigno

Paulo Vinicius Tertuliano Marinho

Cesar Augusto Martins Pereira

São Paulo, 13/12/2019