

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**AVALIAÇÃO DA PRECISÃO NA INSERÇÃO DE PARAFUSOS
PEDICULARES APLICADOS NA COLUNA CERVICAL CAUDAL
DE CÃES COM AUXÍLIO DE GUIAS DE PERFURAÇÃO
PACIENTE-ESPECÍFICO IMPRESSOS EM 3D**

Laís Fernanda Sargi

Médica Veterinária

2021

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP

CÂMPUS DE JABOTICABAL

**AVALIAÇÃO DA PRECISÃO NA INSERÇÃO DE PARAFUSOS
PEDICULARES APLICADOS NA COLUNA CERVICAL CAUDAL
DE CÃES COM AUXÍLIO DE GUIAS DE PERFURAÇÃO
PACIENTE-ESPECÍFICO IMPRESSOS EM 3D**

Discente: Laís Fernanda Sargi

Orientador: Prof. Associado Bruno Watanabe Minto

**Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp,
Câmpus de Jaboticabal, como parte das
exigências para o Exame Geral de
Qualificação do Programa de Pós-
Graduação em Cirurgia Veterinária.**

2021

S245 Sargi, Laís Fernanda
Avaliação da precisão na inserção de parafusos
pediculares aplicados na coluna cervical caudal de cães com
auxílio de guias de perfuração paciente-específico impressos
em 3D / Laís Fernanda Sargi. -- Jaboticabal, 2021
24 p. : tabs., fotos

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

Orientadora: Bruno Watanabe Minto

1. Neurocirurgia. 2. Coluna cervical. 3. Guia cirúrgico.

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO DA PRECISÃO NA INSERÇÃO DE PARAFUSOS PEDICULARES APLICADOS NA COLUNA CERVICAL CAUDAL DE CÃES COM AUXÍLIO DE GUIAS DE PERFURAÇÃO PACIENTE-ESPECÍFICO IMPRESSOS EM 3D

AUTORA: LAÍS FERNANDA SARGI

ORIENTADOR: BRUNO WATANABE MINTO


Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **Mestra em CIRURGIA VETERINÁRIA**, pela Comissão Examinadora:

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

Prof. Dr. GUILHERME GALHARDO FRANCO (Participação Virtual)
Universidade Federal do Espírito Santo-UFES / Vitória/ES

Prof. Dr. FABRÍCIO SINGARETTI DE OLIVEIRA (Participação Virtual)
Departamento de Morfologia e Fisiologia Animal / FCAV - UNESP - Jaboticabal

Jaboticabal, 26 de fevereiro de 2021



DADOS CURRICULARES DA AUTORA

Laís Fernanda Sargi, nascida no município de Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Ingressou no curso de Medicina Veterinária na Universidade Estadual de Londrina (UEL) em 2012. Realizou estágios na área de clínica cirúrgica de pequenos animais durante a graduação na instituição de origem, na Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” no câmpus de Jaboticabal, SP e Botucatu, Sp. Obteve o título de Médica Veterinária em 2016. Entre os anos de 2017 e 2018, participou do programa de aprimoramento profissional em cirurgia de pequenos animais na Universidade de Franca (UNIFRAN), São Paulo. Atualmente é mestranda do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Veterinária da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, câmpus de Jaboticabal, ao qual ingressou em 2019, sob orientação do Prof. Dr. Bruno Watanabe Minto.

EPÍGRAFE

“O insucesso é apenas uma oportunidade para recomeçar com mais inteligência”.

Henry Ford

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais Edna e Jairo, Meu pai de coração Luís e meu irmão Renato.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar a Deus que me deu forças, saúde e paz para conduzir este trabalho.

Agradeço ao meu orientador Prof. Bruno Watanabe Minto por acreditar em mim e me proporcionar tantas oportunidades.

Ao laboratório de Ortopedia e Neurocirurgia de Pequenos Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária da Unesp de Jaboticabal, o qual contribuiu para meu crescimento pessoal e profissional.

Ao Professor Thiago André Salvitti de Sá Rocha que me participou de todas as fases desta pesquisa e que não mediu esforços para me orientar e me motivar.

Ao Vinícius Dias que realizou os exames de tomografia computadorizada

A todos os profissionais e funcionários do Hospital Veterinário Governador Laudo Bento Natel.

Aos meus pais que sempre me ajudaram e me apoiaram em toda minha jornada e são os responsáveis por tudo que sou.

Aos meus amigos por me incentivarem em todas as escolhas que realizei. As novas amizades que pude construir neste tempo de mestrado.

À fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – FAPESP, pelo auxílio financeiro para o desenvolvimento desta pesquisa – Número de processo: 2018/24859-4

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE ABREVIATURAS.....	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
CAPÍTULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS	1
Introdução e justificativa	1
Objetivos	3
Objetivo geral.....	3
Hipótese	3
REFERÊNCIAS.....	4
CAPÍTULO 2 – DESENVOLVIMENTO DE GUIA DE PERFURAÇÃO ESPECÍFICO DO PACIENTE PARA INSERÇÃO DE PARAFUSO PEDICULAR NA COLUNA CERVICAL CAUDAL DE CÃES UTILIZANDO PROTOTIPAGEM RÁPIDA TRIDIMENSIONAL	6
Resumo.....	6
Introdução	7
Material e Métodos.....	8
Grupos experimentais.....	8
Criação e confecção do GP3D	8
Inserção dos parafusos pediculares nos espécimes e biomodelos.....	12
Avaliação da precisão da inserção dos parafusos pediculares nos espécimes e biomodelos	12
Análise estatística.....	13
Resultados	14
Discussão.....	16

Referências.....	iii 19
Agradecimentos	22
Contribuição dos autores	22
Financiamento.....	22
CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS	23
ANEXO 1 – Normas do periódico “Veterinary Surgery”	24



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



CEUA – COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS

CERTIFICADO

Certificamos que o projeto de pesquisa intitulado "Desenvolvimento de guia de perfuração cirúrgico específico do paciente para inserção de parafuso pedicular na coluna cervical caudal de cães utilizando prototipagem rápida tridimensional", protocolo nº 017144/18, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Bruno Watanabe Minto, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.784, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 06 de dezembro de 2018.

Vigência do Projeto	11/03/2019 a 11/06/2021
Espécie / Linhagem	Canina (cadáver de cão doméstico)
Nº de animais	7
Peso / Idade	20 a 30kg/ Adultos
Sexo	Macho e/ou fêmea
Origem	Hospital Veterinário- FCAV- Unesp- Jaboticabal

Jaboticabal, 06 de dezembro de 2018.

Fabiana Pilarski
Profª Drª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

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

AValiação DA PRECISÃO NA INSErÇÃO DE PARAFUSOS PEDICULARES NAS VÉRTEBRAS CERVICAIS CAUDAIS DE CÃES COM AUXÍLIO DE GUIAS DE PERFURAÇÃO PACIENTE-ESPECÍFICO IMPRESSOS EM 3D

RESUMO - O objetivo deste estudo foi avaliar a precisão de um guia de perfuração cirúrgico tridimensional para as vértebras cervicais caudais de cães, a finalidade do guia foi de auxiliar na perfuração vertebral, gerando a direção para inserção dos parafusos no pedículo vertebral. A direção foi estabelecida previamente, por meio computacional, embasada na análise das vertebral de cada cão, respeitando os corredores cirúrgicos seguros. Para isso, cinco cadáveres caninos foram submetidos à tomografia computadorizada (TC) com cortes de 1 mm de espessura, e as imagens obtidas em formato DICOM das vértebras cervicais C5 e C6 foram exportadas para *software* de reconstrução tridimensional (3D) que permitiu a criação de um guia cirúrgico de perfuração virtual baseado no corredor seguro do pedículo vertebral para a colocação de parafusos pediculares de 2,7 mm de diâmetro. Após a criação e aplicação do GP3D virtual (grupo controle), os guias de perfuração paciente-específico foram impressos em 3D pelo método SLA. Os parafusos pediculares com o auxílio do GP3D foram aplicados em dois grupos: espécimes (GEX) e biomodelos impressos em ABS (GBIO). As imagens de TC obtidas no pós-operatório dos cadáveres e biomodelos foram salvas em formato JPEG e encaminhadas para um programa para a avaliação do ângulo transversal das perfurações entre os parafusos virtuais e reais por meio de reconstrução tridimensional e da imagem tomográfica. Não houve diferenças significativas entre os ângulos das trajetórias dos parafusos composto pelo grupo controle e entre as trajetórias dos grupos grupo *ex vivo* ($p > 0,05$) e grupo biomodelo ($p > 0,05$) aplicados no pedículo vertebral esquerdo e direito de C5 e C6. A avaliação das trajetórias dos parafusos pelo método de reconstrução tridimensional e pela tomografia computadorizada, também não mostraram diferenças significativas ($p > 0,05$). Concluiu-se que o modelo de guia de perfuração cirúrgico paciente-específico foi favorável no auxílio à orientação da broca para a perfuração de parafuso no pedículo vertebral cervical caudal.

Palavras-chave: pedículo cervical; prototipagem rápida tridimensional; coluna cervical; guia de perfuração paciente-específico

ACCURACY OF A PATIENT-SPECIFIC 3D PRINTED DRILL GUIDE FOR PLACING PEDICLE SCREWS IN THE CAUDAL CERVICAL SPINE OF DOGS

ABSTRACT - The aim of the study was to evaluate the accuracy of a three-dimensional surgical perforation guide for the caudal cervical vertebrae of dogs with an auxiliary guide in vertebral perforation, generating a direction to insert the screws in the vertebral pedicle. The direction was previously prepared, using computational means, based on the analysis of the vertebral bones of each dog, respecting the safe surgical corridors. For this, five canine cadavers were obtained at computed tomography (CT) with cuts of 1 mm thick, and as images in DICOM format of the C5 and C6 cervical vertebrae were exported to three-dimensional (3D) reconstruction software that the creation of a guide virtual perforation surgery based on the safe corridor of the vertebral pedicle for placing pedicle screws of 2.7 mm in diameter. After the creation and application of the virtual GP3D (control group), the patient-specific drilling guides were printed in 3D by the SLA method. Pedicle screws with the aid of GP3D were scientific in two groups: specimens (GEX) and biomodels printed in ABS (GBIO). The CT images adjusted in the post-operative period of the cadavers and biomodels were saved in JPEG format and sent to a program for the evaluation of the transverse angle of the perforations between the virtual and real screws by means of three-dimensional reconstruction and the tomographic image. There were no significant differences between the angles of the screw trajectories composed by the control group and between the trajectories of the groups ex vivo group ($p > 0.05$) and biomodel group ($p > 0.05$) reported in the left and right vertebral pedicle of C5 and C6. The evaluation of the screw trajectories by the three-dimensional reconstruction method and by computed tomography, there are also no important differences ($p > 0.05$). Do the following: the patient-specific surgical drilling guide model is favorable in helping to orient the drill for the introduction of no caudal cervical vertebral pedicle.

Keywords: cervical pedicle; rapid three-dimensional prototyping; cervical spine; patient-specific drilling guide

LISTA DE ABREVIATURAS

°: grau

3D: tridimensional

ABS: *acrylonitrile butadiene styrene*

CEUA: comitê de ética no uso de animais

C5: quinta vértebra cervical

C6: sexta vértebra cervical

DICOM: *digital imaging and communications in medicine*

DLP: *direct Light Projection*

DP: desvio padrão

FCAV: faculdade de ciências agrárias e veterinárias

GBIO: grupo biomodelo

GEX: grupo *ex vivo*

GP3D: guia de perfuração tridimensional paciente-específico

IQR: faixa interquartil

kg: quilograma

mm: milímetro

SP: São Paulo

SLA: estereolitografia

STL: *standard tessellation languag*

TC: tomografia computadorizada

UNESP: universidade estadual paulista

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 2

- Tabela 2.** Mediana \pm ranger interquartil dos ângulos sagitais ($^{\circ}$) das trajetórias dos parafusos pediculares das vertebrae C5 e C6 do Grupo Controle, Grupo *Ex vivo* e Grupo Biomodelo avaliado por reconstrução tridimensional e pela imagem tomográfica **16**
- Tabela 3.** Bias \pm DP dos ângulos sagital ($^{\circ}$) das trajetórias dos parafusos pediculares dos grupos em relação ao controle **16**

LISTA DE FÍGURAS

CAPÍTULO 2

- Figura 1:** Imagens ilustrativas das reconstruções tridimensionais da coluna vertebral cervical com ênfase nas vértebras C5 e C6 de cadáveres de cães, obtidas por meio de tomografia computadorizada e conversão dos arquivos DICOM. Imagens obtidas por meio do *software 3DSlicer®* gerando a malha tridimensional virtual da coluna vertebral. **A)** Vista ventral da imagem computacional demonstrando quinta vértebra cervical (C5) e sexta vértebra cervical (C6). **B)** Vista Oblíqua da imagem computacional demonstrando quinta vértebra cervical (C5) e sexta vértebra cervical (C6) **9**
- Figura 2.** Imagem ilustrativa de reconstrução 3D computacional da determinação das trajetórias ideais (grupo controle) do parafuso pedicular direito com pinos virtuais da vertebra C5 de cadáver de cão, por meio do *software 3DSlicer®* e *Optimed®*. A Linha vertical azul corresponde a linha do plano que divide o o corpo vertebral, o canal espinhal e processo espinhoso (eixo sagital). As linhas rosas referem-se ao ângulo de orientação do parafuso pedicular pré definido com base no plano sagital vertebral **10**
- Figura 3.** Imagem Ilustrativa da alocação virtual dos GP3D paciente- específico na superfície ventral nos corpos vertebrais de C5 e C6 realizada *software 3DSlicer®* e *Blender®* **11**
- Figura 4.** Imagem fotográfica dos guias de perfuração impressos em 3D (GP3D). **A)** Vista caudal do GP3D. **B)** Vista lateral do GP3D. (*) refere-se ao GP3D específico do paciente da vertebra C5. (**) refere-se ao GP3D específico do paciente da vértebra C6..... **11**
- Figura 5.** Imagens fotográficas do espécime da coluna cervical de cadáver de cão com o GP3D paciente-específico. **A)** GP3D paciente-específico acoplado ventralmente na superfície do corpo vertebral de C5 e C6. **B)** Simulação da perfuração orientada pelo GP3D com auxílio de brocas de 2 mm de diâmetro. **C)** Trajetória do parafuso pedicular da vertebra C5 do espécime confirmada com tomografia computadorizada demonstrada pelo asterisco e vermelho o direito e asterisco azul o lado esquerdo.. **13**
- Figura 6.** Imagens fotográficas do biomodelo canino com o GP3D paciente-específico. **A)** GP3D paciente-específico acoplado ventralmente na superfície do corpo vertebral de C5 e C6. **B)** Simulação da perfuração orientada pelo GP3D com auxílio de brocas de 2,4mm. **C)** Trajetória do parafuso pedicular da vertebra C5 do biomodelo confirmada com tomografia computadorizada demonstrada pelo asterisco e vermelho o direito e asterisco azul o lado esquerdo **14**
- Figura 7.** Avaliação da acurácia da orientação da implantação de parafusos pediculares na vértebra C6 obtidas a partir de cadáveres caninos. **A)** Imagem ilustrativa da angulação da trajetória computacional ideal dos parafusos pediculares (grupo controle). **B)** Imagem ilustrativa da reconstrução 3D pós aplicação do GP3D paciente-específico (GEX). **C)** Imagem ilustrativa da imagem tomográfica pós

aplicação do GP3D paciente-específico (GEX). Linha azul (**A, B e C**) corresponde a linha que divide o o corpo vertebral, o canal espinhal e processo espinhoso (eixo sagital) e as linhas rosas (**A, B e C**) referem-se ao ângulo sagital do parafuso pedicular definido eixo do parafuso pedicular ao eixo vertebral sagital do respectivo corpo vertebral **15**

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

Introdução e justificativa

A estabilização cirúrgica da coluna vertebral em cães é recomendada em diversas afecções neurológicas, incluindo malformações congênitas, fraturas ou luxações, neoplasias e instabilidade vertebral decorrente de doenças degenerativas como a espondilomielopatia cervical caudal (Síndrome de *Wobbler*) (Platt e Da Costa, 2013).

A síndrome de *Wobbler* refere-se à uma combinação de malformação e má articulação vertebral afetando as vértebras cervicais caudais e estruturas de tecidos moles adjacentes (Scott et al., 2013). A compressão da medula espinhal por deformações ósseas é comumente descrita em cães de raças gigantes como, o Dogue Alemão, geralmente com menos de três anos de idade (Da Costa, 2010). Já a compressão causada por herniação do disco intervertebral é denominada “disco associada”, sendo as raças de grande porte e os cães de meia idade os mais acometidos (Da Costa, 2010). As principais regiões intervertebrais envolvidas são C5-C6 e C6-C7 (Dewey, 2013).

Com base na patogênese multifatorial desta afecção neurológica, as recomendações de tratamento são altamente variáveis (Scott et al., 2013). A decisão de recomendar o tratamento cirúrgico deve se basear em vários fatores, como gravidade dos sinais neurológicos, avaliação da dor, tipo e gravidade da lesão compressiva e resposta ao tratamento conservador (Platt e Da Costa, 2013).

Inúmeros procedimentos cirúrgicos têm sido relatados para esta síndrome e são baseados na técnica de distração-estabilização e descompressão do disco intervertebral. Para a descompressão discal são relatadas as técnicas de slot ventral, laminectomia dorsal e hemilaminectomia cervical (Platt e Da Costa, 2013). E, para a estabilização vertebral, vários tipos de implantes são descritos e incluem pinos lisos ou *schanz*, parafusos associados ao polimetilmetacrilato, espaçadores intervertebrais metálicos, parafusos pediculares e placas metálicas (Dewey, 2013).

O uso de sistemas de parafusos pediculares para a estabilização vertebral está se tornando cada vez mais comum na neurocirurgia veterinária (Aoude et al., 2015). Para a inserção adequada do parafuso pedicular é importante planejar o tamanho correto

do parafuso e posicioná-lo adequadamente no interior do pedículo visando garantir um ótimo estoque ósseo (Mueller et al., 2010).

A inserção de parafusos pediculares com a técnica à mão livre tem uma alta taxa relacionada a lesões da medula espinhal, raízes nervosas, vasos sangüíneos e ao posicionamento incorreto dos parafusos (Galindo et al., 2015). Além disso, os ângulos para a inserção ideal nos corpos vertebrais cervicais caudais descritos na literatura são limitados em cães, devido aos relatos conflitantes e as variações anatômicas entre as raças (Hojo et al., 2014).

A técnica cirúrgica guiada por fluoroscopia e navegação computadorizada melhora a precisão cirúrgica em relação à técnica à mão livre, visto que permite a projeção de imagens em movimento e em tempo real a partir da emissão de raios X no centro cirúrgico. Entretanto expõe o cirurgião e o paciente a altos níveis de radiação (Singer, 2005). Ademais, possui elevado custo financeiro e o prolongamento do tempo operatório aumenta o risco de infecção (Singer, 2005).

A alternativa para solucionar esses problemas descritos, refere-se à produção de um guia cirúrgico específico do paciente, confeccionado com o auxílio de impressão 3D que permite a inserção precisa dos parafusos pediculares de acordo com as particularidades anatômicas do animal, além de ser uma opção de baixo custo e de fácil acesso (Hamilton-Bennett et al., 2018).

Atualmente, com os custos mais acessíveis dos equipamentos de tomografia computadorizada e com os avanços da engenharia biomédica, a tecnologia de prototipagem vem ganhando espaço e apresenta um recurso promissor no auxílio do planejamento e da execução de cirurgias complexas da coluna, de modo a viabilizar a construção de modelos tridimensionais a partir de dados obtidos pela TC (Wu et al., 2015; Tack et al., 2016).

A criação deste guia de perfuração cirúrgico consiste na realização de TC do seguimento cervical e a imagem adquirida é processada para a criação de uma imagem tridimensional (3D). Os dados das imagens em 3D são trabalhados em programas que permitem a criação do modelo virtual do guia de perfuração. Após a completa confecção virtual a imagem é transferida para um equipamento de prototipagem rápida para a confecção do guia de perfuração cirúrgico por meio da impressão 3D (Lu et al., 2012; Tack et al., 2016).

O protótipo deve ser constituído por um material esterilizável que apresente a cópia da superfície ventral do corpo vertebral visando encaixe perfeito e os orifícios para as perfurações projetadas com o intuito de guiar a broca através de uma angulação ideal pré-planejada (Chen et al., 2015).

Tendo em vista essas características, idealiza-se neste trabalho, obter uma técnica cirúrgica precisa e segura para a implantação de parafusos pediculares na coluna cervical, respeitando as particularidades anatômicas do animal. Dessa forma, a alocação adequada do parafuso no pedículo vertebral possibilita fixação com ótimo estoque ósseo, além de minimizar complicações como, instabilidade cervical, *pull-out* de parafuso ou fraturas do pedículo (Tang et al., 2014). Para tal, será criado guias cirúrgicos de perfuração para uso de parafusos pediculares para coluna cervical impresso em 3D específico do paciente.

Objetivos geral

O objetivo deste estudo foi avaliar a precisão do guia de perfuração paciente-específico impresso em 3D para as vértebras cervicais caudais (C5 e C6) de cães, com a finalidade de auxiliar na correta implantação de parafusos no pedículo vertebral respeitando os corredores seguros e o ótimo estoque ósseo tanto nos cadáveres quanto nos biomodelos.

Hipótese

Acredita-se hipoteticamente que a tecnologia de protipagem rápida tridimensional associada a *softwares* específicos possibilitam a criação de instrumentos paciente-específico com segurança e reprodutibilidade para a perfuração e conseqüentemente implantação dos parafusos pediculares cervicais. A implantação adequada do parafuso no pedículo vertebral possibilita fixação com ótimo estoque ósseo, além de minimizar complicações como, instabilidade cervical, *pull-out* de parafuso ou fraturas do pedículo. Além disso, propiciará um método alternativo a técnica convencional à mão livre que apresenta altas taxas de lesões medulares e a limitação do alto custo de navegadores cirúrgicos e fluoroscópios em centros cirúrgicos veterinários.

Referências

- Aoude AA, Fortin M, Figueiredo R, Jarzem P, Ouellet J, Weber MH (2015). Methods to determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review. **European Spine Journal**. 24(5): 990-1004.
- Chen H, Wu D, Yang H, Guo K (2015). Hongliang et al. Clinical use of 3D printing guide plate in posterior lumbar pedicle screw fixation. **Medical science monitor: international medical journal of experimental and clinical research**. 21: 3948.
- Da Costa, RC. Cervical spondylomyelopathy (wobbler syndrome) in dogs (2010). **Veterinary Clinics: Small Animal Practice**. 40 (5): 881-913.
- Dewey CW. In: Fossum, TW (2015). **Cirurgia de pequenos animais**. 4ª ed. Rio de Janeiro, 40: 4255-4277.
- Galindo MH, Galindo RH, Medeiros RCD, Pereira AF, Ferreira MA, Rangel TD.M. (2013). Misplaced pedicle screws by the freehand technique: what is the real value for the occurrence of neurological lesions? **Columna**. 12(4): 315-318.
- Hamilton-Bennett SE, Oxley B, Behr S (2018). Accuracy of a patient-specific 3D printed drill guide for placement of cervical transpedicular screws. **Veterinary Surgery**. 47 (2): 236-242.
- Hojo Y, Ito M, Suda K, Oda I, Yoshimoto H, Abumi K (2014). A multicenter study on accuracy and complications of freehand placement of cervical pedicle screws under lateral fluoroscopy in different pathological conditions: CT-based evaluation of more than 1,000 screws. **European Spine Journal**. 23 (10): 2166-2174.
- Lu S, Zhang YZ, Wang Z, Shi JH, Chen YB, Xu XM, XU YQ (2012). Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template. **Medical & biological engineering & computing**. 50 (7): 751-758.
- Mueller CA, Roessler L, Podlogar M, Kovacs A, Kristof RA (2010). Accuracy and complications of transpedicular C2 screw placement without the use of spinal navigation. **European spine journal**. 19 (5): 809-814.
- Platt SR, Da Costa R. C. Cervical Vertebral Column and Spinal Cord. In: Tobias KM, Johnston SA (2013). **Veterinary Surgery: Small Animal**. Elsevier Health Sciences. 31: 1396-1425.
- Scott H, Shihab N, Raimondi F. Canine wobbler syndrome study (2013). **The Veterinary Record**. 173 (17): 428.
- Singer G. Occupational radiation exposure to the surgeon (2015). **JAAOS-Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons**. 13 (1): 69-76.
- Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review (2016). **Biomedical engineering online**. 15 (1): 115.
- Tang J, Zhu Z, Sui T, Kong D, Cao X. Position and complications of pedicle screw insertion with or without image-navigation techniques in the thoracolumbar spine: A

meta-analysis of comparative studies (2014). **Journal of Biomedical Reserch.** 28(3):228-239.

Wu AM, Shao ZX, Wang JS, Yang, XD, Weng, WQ, Wang XY., Lin ZK (2015). The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. **PLoS One.** 10 (4): e0124291.

CAPÍTULO 2 - Avaliação da precisão na inserção de parafusos pediculares nas vértebras cervicais caudais de cães com auxílio de guias de perfuração paciente-específico impressos em 3D

Resumo

Objetivo: avaliar a precisão de um novo modelo de guia de perfuração cirúrgico impresso em 3D para auxiliar no direcionamento de parafusos no pedículo vertebral para estabilização cervical caudal de cães.

Design de estudo: estudo experimental

Animais: cães (n = 5).

Métodos: tomografias computadorizadas da coluna cervical de cinco cadáveres caninos foram realizadas e as imagens das vértebras cervicais (C5 e C6) foram exportadas para *software Slicer 3D*[®] de reconstrução tridimensional. Este *software* permitiu a criação de um guia cirúrgico de perfuração virtual baseado no corredor seguro do pedículo vertebral para a alocação de parafusos. Após a criação e aplicação do GP3D virtual (grupo controle), os guias de perfuração paciente-específico foram impressos em 3D pelo método SLA. Os parafusos pediculares com o auxílio do GP3D foram aplicados em dois grupos: espécimes (grupo ex vivo) e biomodelos impressos em ABS (grupo biomodelo). Tomografias computadorizadas foram realizadas após o procedimento e a angulação das trajetórias foram obtidas pelo *software Optimed*[®] por duas formas: imagem tomográfica e reconstrução 3D. Os ângulos dos parafusos pediculares do planejamento e do pós-operatório foram comparadas para avaliar a precisão das perfurações com o auxílio do GP3D.

Resultados: Não houve diferenças significativas entre os ângulos das trajetórias dos parafusos composto pelo grupo controle e entre as trajetórias dos grupos grupo ex vivo ($p > 0,05$) e grupo biomodelo ($p > 0,05$) aplicados no pedículo vertebral esquerdo e direito de C5 e C6. A avaliação das trajetórias dos parafusos pelo método de reconstrução tridimensional e pela tomografia computadorizada, também não mostraram diferenças significativas ($p > 0,05$).

Conclusão: O modelo de guia de perfuração cirúrgico paciente-específico desenvolvido no presente estudo foi favorável no auxílio à orientação da broca para a perfuração de parafuso no pedículo vertebral cervical caudal.

Significância Clínica: o guia de perfuração pode ser útil à segurança e precisão da colocação do parafuso em instabilidades cervical caudal de cães de raças grandes.

Introdução

A espondilomielopatia cervical caudal é uma combinação de malformação e má articulação vertebral afetando a coluna cervical caudal e estruturas de tecidos moles adjacentes que podem comprimir a medula espinhal de forma dinâmica ou estática^{1,2}. A descompressão da medula espinhal seguida de fixação vertebral são modalidades no tratamento¹.

A fixação vertebral é obtida por meio de implantes, como placas de aço inoxidável ou titânio, pinos ou parafusos alocados no interior dos pedículos conectados por cimento ósseo (polimetilmetacrilato) e espaçadores metálicos^{3,4,5}. O uso de parafusos pediculares na coluna cervical na medicina humana aumentou na última década, por causa de suas propriedades biomecânicas superiores e resultados satisfatórios^{6,7}. Mas podem apresentar um risco iatrogênico à lesão de estruturas vitais, incluindo artéria vertebral, raízes nervosas e medula espinhal^{8,9}. Na medicina veterinária, as variações anatômicas nas diferentes raças caninas e associada a malformações vertebrais tornam a colocação precisa do implante um desafio maior¹⁰.

Orientação fluoroscópica e uso de um sistema de neuronavegação melhoram a precisão da colocação do implante em relação à técnica à mão livre, visto que permite a projeção de imagens em movimento e em tempo real^{11,12,13}. Entretanto expõe o cirurgião e o paciente a altos níveis de radiação¹⁴. Ademais, possui elevado custo financeiro limitando a aplicação dessas tecnologias na medicina veterinária. Com isso a colocação de implante à mão livre é comum em cirurgias de fixação espinhal que pode resultar em lesão iatrogênica à medula, vasos e raízes nervosas^{15,16}.

Com os custos mais acessíveis dos equipamentos de tomografia computadorizada e com os avanços da engenharia biomédica, a tecnologia de prototipagem vem ganhando espaço e apresenta um recurso promissor no auxílio do planejamento e da execução de cirurgias complexas da coluna, de modo a viabilizar a construção de modelos tridimensionais a partir de dados obtidos pela TC^{17,18}.

Tendo em vista essas características, idealizou-se neste trabalho, obter uma técnica cirúrgica precisa e segura para a colocação de parafusos pediculares na coluna cervical de acordo com as particularidades anatômicas do animal. Dessa forma, a colocação adequada do parafuso no pedículo vertebral possibilita uma fixação mais rígida e estável, além de minimizar complicações como, instabilidade cervical, *pull-out* de parafuso ou fraturas do pedículo¹⁹. O objetivo deste estudo foi avaliar por meio de TC, a precisão dos ângulos obtidos pós implantação de parafusos pediculares na quinta e sexta vértebras cervicais de cadáver de cães e biomodelos

com auxílio de guia de perfuração para broca impresso em 3D.

Materiais e métodos

Este estudo foi realizado com cadáveres de acordo com as políticas institucionais de ética animal com protocolo aprovado pelo Comitê de Ética no Uso de Animais da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinária – UNESP (nº 017144/18).

Cinco cadáveres caninos com média de 30kg adultos foram utilizados para este experimento. Radiografias prévias para exclusão de anomalias congênitas, traumas, neoplasias ósseas e discoespondilite foram realizadas. As amostras foram distribuídas em três grupos:

O Grupo controle (GC): composto por imagem tridimensional da quinta e sexta vértebra cervical adquiridas por meio de arquivos em DICOM pela tomografia computadorizada (TC) dos cinco cadáveres caninos. Este grupo consiste na confecção e aplicação computacional do GP3D com as trajetórias dos parafusos pediculares planejados virtualmente buscando a orientação do parafuso no pedículo vertebral com maior estoque ósseo planejado por meio do software *Blender*[®].

Grupo Ex vivo (GEX): composto pelos espécimes da coluna cervical dos cinco cadáveres caninos, foi realizada a desartilação meticulosa entre atlas e axis e entre T2-T3 preservando toda musculatura adjacente cervical, articulações, disco intervertebral e ligamento nugal de C2 a T2. Este grupo consiste na aplicação prática do GP3D na quinta e sexta vértebra cervical dos espécimes.

Grupo biomodelo (GBIO): composto por corpos vertebrais de C5 e C6 impressos em ABS que foram obtidos a partir da TC e arquivos DICOM da coluna cervical caudal correspondente dos cinco cadáveres caninos. Este grupo consiste na aplicação prática do GP3D nos biomodelos.

Criação e confecção dos GP3D

Inicialmente, os espécimes foram encaminhados para a realização de tomografia computadorizada *GE hispeed Fx*[®] de alta resolução e com cortes finos de 1 mm de espessura em um Centro de Diagnóstico Veterinário Animais na cidade de Ribeirão Preto, SP. Os exames foram avaliados e interpretados por um veterinário especializado em Diagnóstico por Imagem. Após o procedimento, os cadáveres foram congelados em *freezer* horizontal a temperatura de –24°.

As imagens bidimensionais sequenciais da tomografia obtidas em formato DICOM (*Digital Imaging and Communication in Medicine*) foram exportadas para o *software Slicer 3D*[®] de reconstrução tridimensional, sendo possível obter representação em malha triangulada de C5 e C6. Este programa possibilita a projeção de cada corpo vertebral o qual é possível manipular individualmente cada corpo vertebral em todos os planos (Figura 1).

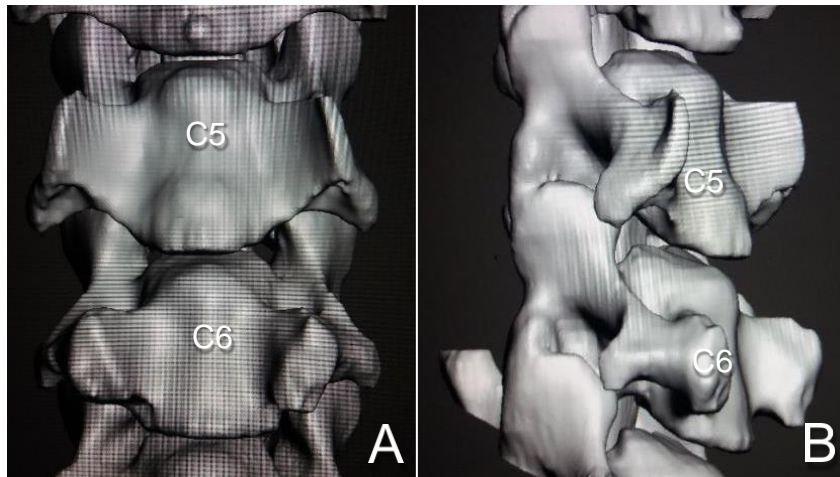


Figura 1. Imagens computacionais ilustrativas das reconstruções tridimensionais da coluna vertebral cervical com ênfase nas vértebras C5 e C6 de cadáveres de cães, obtidas por meio de tomografia computadorizada e conversão dos arquivos DICOM. Imagens obtidas por meio do *software 3DSlicer*[®] que gerou a malha tridimensional virtual da coluna vertebral. **A**, Vista ventral da imagem computacional demonstrando quinta vértebra cervical (C5) e sexta vértebra cervical (C6). **B**, Vista Oblíqua da imagem computacional demonstrando quinta vértebra cervical (C5) e sexta vértebra cervical (C6).

Os dados obtidos foram salvos em arquivo STL e exportados para o *software Blender*[®] para criação do modelo virtual dos GP3D, permitindo o planejamento preciso da trajetória de cada perfuração do ponto de entrada e do parafuso pedicular de acordo com a particularidade vertebral específica de cada cão (figura 2).

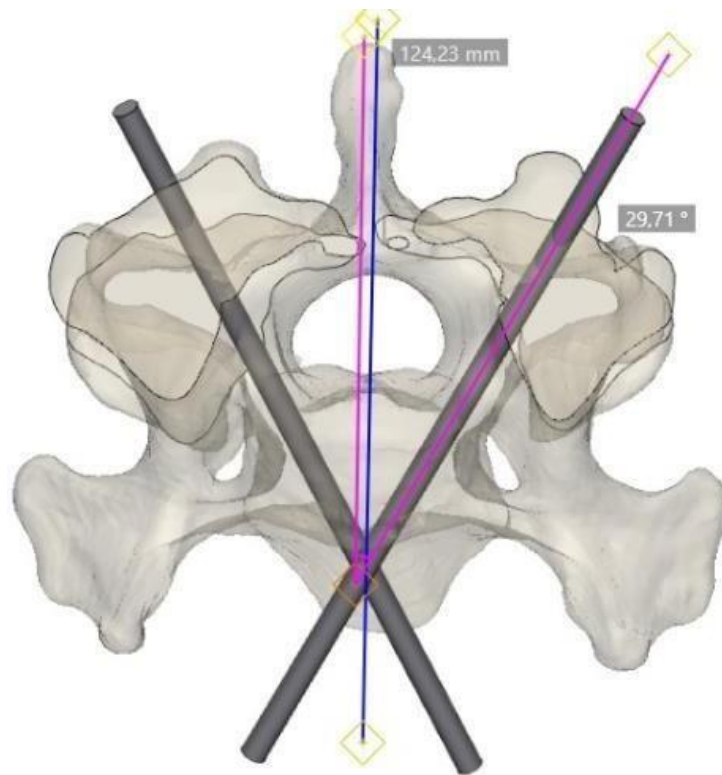


Figura 2. Imagem computacional ilustrativa de reconstrução 3D da determinação das trajetórias (grupo controle) do parafuso pedicular direito com pinos virtuais da vértebra C5 de cadáver de cão seccionadas no plano transversal. As imagens foram capturadas pelo software Blender® e salvas em JPEG para análise no Optimed®. A linha vertical azul corresponde a linha do plano que divide o corpo vertebral, o canal espinhal e o processo espinhoso (eixo sagital). As linhas rosas referem-se ao ângulo de orientação do parafuso pedicular pré definido com base no plano sagital vertebral.

Duas trajetórias para brocas de 2.0 mm foram planejadas para a perfuração do pedículo direito e esquerdo de C5 e C6, respectivamente. O guia de perfuração possuía sua superfície de contato compatível com o aspecto ventral do corpo vertebral ventral de C5 e C6 e, portanto, se encaixava perfeitamente na superfície óssea com dois orifícios de perfuração, cada um direcionado no sentido craniolateral dos pedículos vertebrais com a angulação planejada específica de C5 e C6 de cada espécime e seu respectivo biomodelo (Figura 3).

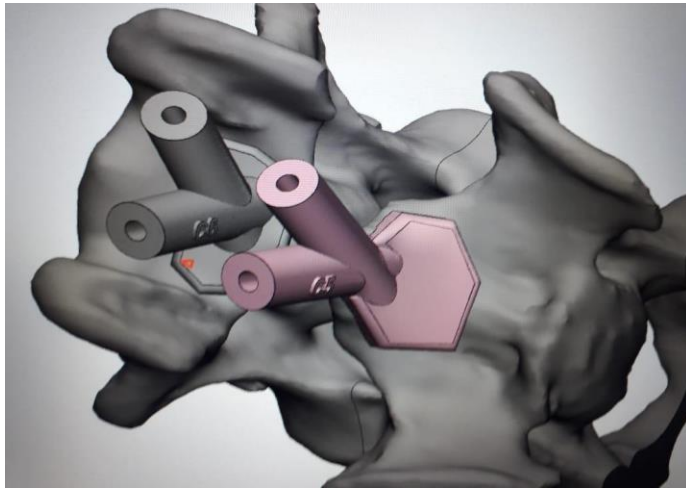


Figura 3. Imagem computacional Ilustrativa da alocação virtual dos GP3D paciente- específico na superfície ventral nos corpos vertebrais de C5 e C6 realizada *software 3DSlicer® e Blender®*.

Após a criação dos GP3D e orientações virtuais da perfuração, foi realizado cortes transversais exibindo as orientações das perfurações e salvas as imagens em arquivo JPEG para posterior mensuração da angulação (grupo controle) por meio do *software Optimed®*.

Após a criação virtual dos GP3D, os modelos foram exportados para formato SLT (*Standard Tessellation Language*) e o preparo pré-impressão foi realizado pelo *software Repetier Host®*, gerando o fatiamento da imagem, em seguida a construção em camadas por meio da catalisação de resina fotossensível por projeção de luz direta ultravioleta (UV), método denominado de *Direct Light Projection (DLP)* para a impressão dos GP3D (Figura 4) e FDM para impressão dos biomodelos. Ambos impressos com o material ABS (Acrilonitrilo Butadiene Styrene).

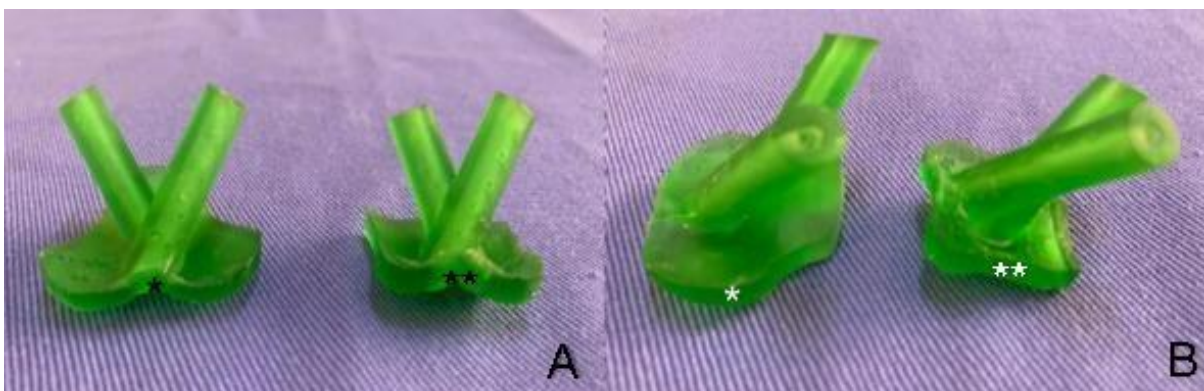


Figura 4 . Imagem fotográfica dos guias de perfuração impressos em 3D (GP3D). **A,** Vista caudal do GP3D. **B,** Vista lateral do GP3D. (*) refere-se ao GP3D específico do paciente da vertebra C5. (**) refere-se ao GP3D específico do paciente da vértebra C6

Inserção dos parafusos nos espécimes e biomodelos

Os espécimes foram descongelados sob temperatura ambiente, posicionados em decúbito dorsal e realizada a colocação dos panos de campo simulando atuação cirúrgica *in vivo*. Realizou-se a divulsão dos músculos *longus colli* e exposição completa dos corpos vertebrais (C5 e C6) com o auxílio do afastador gelpi. A remoção dos tecidos moles foi realizada de forma meticulosa a fim de garantir um contato ósseo pleno e firme para o GP3D.

O local de posicionamento dos GP3D específico para cada vértebra C5 e C6 foi na superfície ventral do corpo vertebral dos espécimes e biomodelos, e realizada a perfuração guiada por meio de broca ortopédica de 2.0 mm de diâmetro em um orifício de perfuração inicialmente. A permanência da primeira broca no orifício foi importante para estabilização do guia a vértebra, auxiliando na precisão da condução da segunda perfuração. As orientações das perfurações foram planejadas de forma que as brocas não se tocassem entre si no anterior do corpo vertebral, favorecendo a permanência de ambas ao mesmo tempo. Após concluídas as perfurações, foi realizado a remoção das brocas e GP3D, expondo os orifícios para implantação dos parafusos pediculares de 2.7 mm de diâmetro confeccionados em titânio com auxílio de chave ortopédica. Os cálices dos parafusos foram retirados, pois ao inserir o segundo parafuso ele se justapôs ao primeiro tanto nas vertebbras C5 e C6, o que impossibilitou a inserção dos parafusos com os cálices.

Avaliação da precisão da inserção dos parafusos pediculares nos espécimes e biomodelos

Os espécimes e biomodelos com parafusos pediculados implantados foram submetidos à tomografia computadorizada *GE hispeed Fxi*[®] com corte de 1 mm de espessura. Foi utilizado o *software 3DSlicer*[®] para a reconstrução tridimensional computacional dos arquivos DICOM das vértebras cervicais dos espécimes e biomodelos e realizado cortes transversais, exibindo a orientação dos parafusos. Essas imagens foram salvas em arquivo JPEG e encaminhadas para o *software Optimedt*[®], que possibilitou a mensuração das vértebras cervicais para a avaliação comparativa da trajetória dos parafusos pediculares no grupo controle com a trajetória dos parafusos pediculares inseridos do GEX e o GBIO. Esta comparação possibilitou a avaliação do ângulo em relação ao plano sagital das orientações computacionais de perfurações (GC) e pós implantação (GEX e GBIO).

O eixo vertebral sagital mediano é uma linha que divide o corpo vertebral, o

canal espinhal e processo espinhoso. O ângulo de implantação do parafuso foi definido como o ângulo formado pelo eixo do parafuso pedicular ao eixo vertebral sagital do respectivo corpo vertebral, conforme citado por Mathew, J. E. 2013. Foram adotados dois métodos para a mensuração dos ângulos: reconstrução computacional tridimensional e mensuração na tomografia computadorizada após implantação, visando aumentar o número de amostras favorecendo a estatística (figura 5).

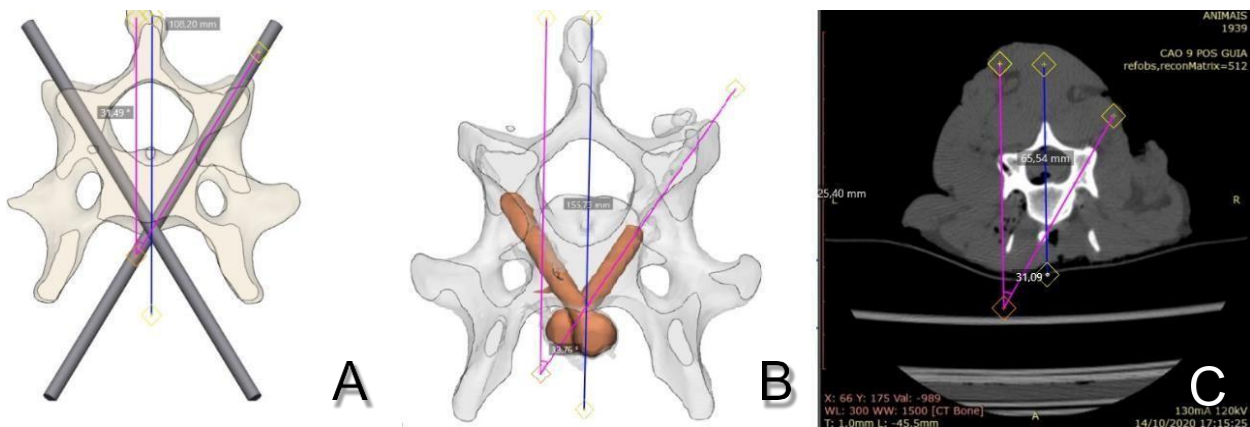


Figura 5. Avaliação da acurácia da orientação da implantação de parafusos pediculares na vértebra C6 obtidas a partir de cadáveres caninos. **A**, Imagem ilustrativa da angulação da trajetória computacional ideal dos parafusos pediculares (grupo controle). **B**, Imagem ilustrativa da reconstrução 3D da trajetória dos parafusos após aplicação do GP3D paciente-específico (GEX). **C**, Imagem ilustrativa da imagem tomográfica pós aplicação do GP3D paciente-específico (GEX). Linha azul **A**, **B** e **C** corresponde a linha que divide o o corpo vertebral, o canal espinhal e processo espinhoso (eixo sagital) e as linhas rosas **A**, **B** e **C** referem-se ao ângulo sagital do parafuso pedicular definido eixo do parafuso pedicular ao eixo vertebral sagital do respectivo corpo vertebral.

Análise estatística

As análises estatísticas foram realizadas com ajuda do Software R (versão 3.6.3) e o Software estatístico *GraphPad Prism* (V.6.01). O ângulo da trajetória do parafuso em cada vértebra foi avaliado pelo teste de *Kruskal-Wallis*. A comparação entre os ângulos obtidos entre cadáver e protótipo, e a comparação do método de avaliação por meio de reconstrução e tomografia, foi avaliado pelo teste de Friedman. Os valores resultantes de cada variável apresentam-se como a mediana \pm a faixa interquartil (IQR). A variação entre os grupos testados e o controle.

Resultados

Ao todo, a trajetória de quarenta parafusos pediculares medindo 2,7 mm de diâmetro foram inseridos nos espécimes da coluna cervical de cadáveres caninos (n=20) e seus respectivos biomodelos (n=20) foram avaliados. O GP3D mostrou-se exequível com fácil ajuste na superfície do corpo vertebral tanto do espécime (figura 6) quanto no biomodelo (figura 7).

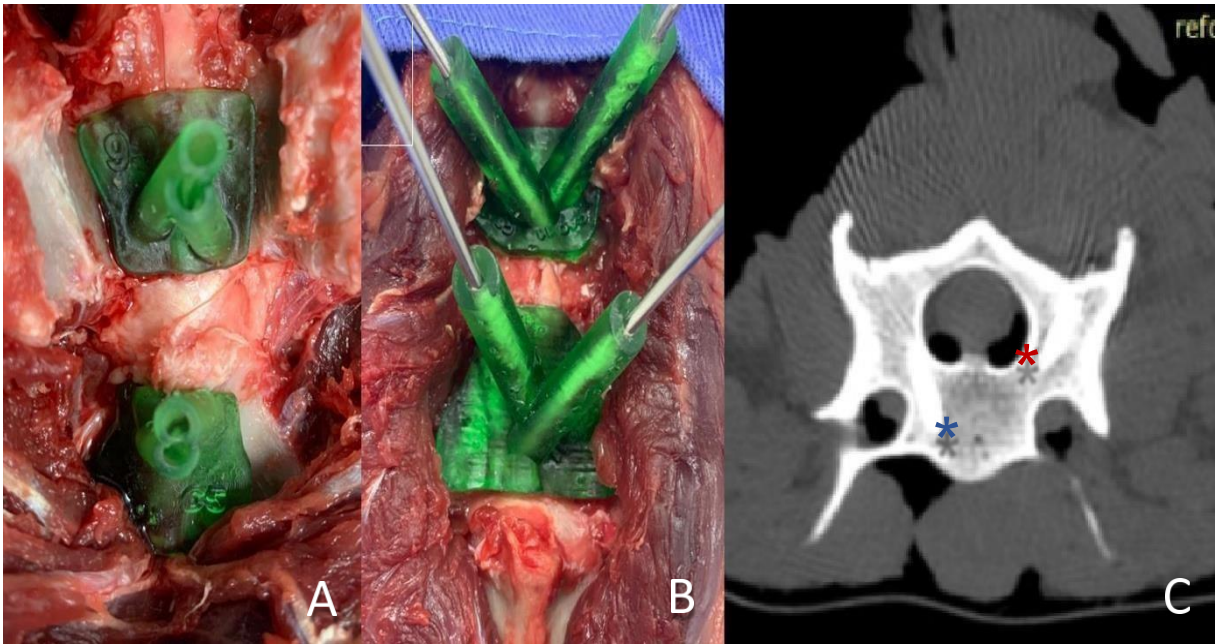


Figura 6. Imagens fotográficas do espécime da coluna cervical de cadáver de cão com o GP3D paciente-específico. **A**, GP3D paciente-específico acoplado ventralmente na superfície do corpo vertebral de C5 e C6 **B**, Simulação da perfuração orientada pelo GP3D com auxílio de brocas de 2.0 mm de diâmetro. **C**, Trajetória do parafuso pedicular da vertebra C5 do espécime confirmada com tomografia computadorizada demonstrada pelo asterisco vermelho(*) o lado direito e asterisco azul (*) o lado esquerdo.

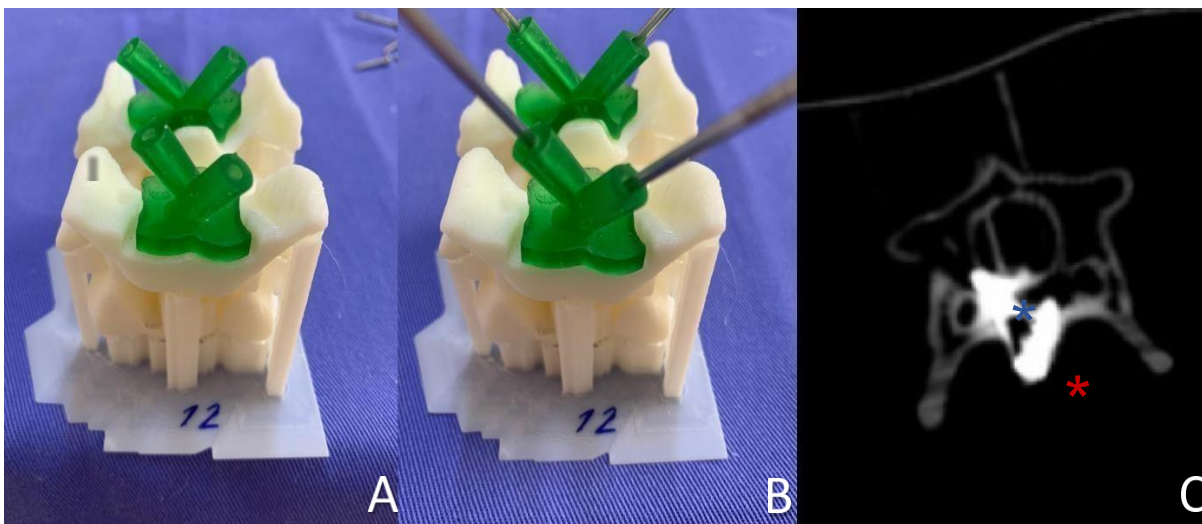


Figura 7. Imagens fotográficas do biomodelo canino com o GP3D paciente-específico. **A**, GP3D paciente-específico acoplado ventralmente na superfície do corpo vertebral de C5 e C6. **B**, Simulação da perfuração orientada pelo GP3D com auxílio de brocas de 2.0 mm de diâmetro. **C**, Trajetória do parafuso pedicular da vertebra C5 do biomodelo confirmada com tomografia computadorizada demonstrada pelo asterisco (*) vermelho o lado direito e asterisco azul (*) o lado esquerdo.

Nenhuma perfuração no canal medular foi observada por tomografia computadorizada pós-operatória. Não houve diferenças significativas nas médias dos ângulos entre as trajetórias dos parafusos do grupo controle e entre as trajetórias dos grupos *ex vivo* e biomodelo aplicados na vértebra C5 à direita ($p=0,479$); C5 à esquerda espécime ($p=0,784$); C6 direita ($p=0,430$) e C6 à esquerda ($p=0,577$). Da mesma forma, não houve efeito de realizar a avaliação no cadáver ou no protótipo ($p>0,05$), nem pelo método de reconstrução tridimensional ou pela TC ($p>0,05$) (Tabela 1). O ângulo médio do desvio dos parafusos nas vértebras C5 e C6 por meio da reconstrução 3D foi de $-2,89^\circ (\pm 5,12)$ e pelo método de avaliação na imagem tomográfica foi de $2,6^\circ (\pm 7,3)$ (tabela 2).

Tabela 1. Mediana \pm rango interquartil dos grupos

	Grupos					P-valor		
	Controle	Reconstrução		Tomografia		Grupo*	CxP**	RxT***
		Cadáver	Protótipo	Cadáver	Protótipo			
C5								
D	30,53 \pm 7,21	33,80 \pm 6,89	28,00 \pm 3,61	31,18 \pm 6,33	30,27 \pm 5,58	0,479	0,217	0,739
E	33,61 \pm 5,20	26,73 \pm 4,07	32,56 \pm 12,15	24,25 \pm 13,48	31,15 \pm 19,02	0,784	0,684	0,684
C6								
D	31,49 \pm 6,08	26,06 \pm 9,75	25,86 \pm 2,60	24,66 \pm 9,71	32,49 \pm 3,79	0,430	0,435	0,853
E	31,82 \pm 3,05	33,89 \pm 7,98	25,65 \pm 6,02	34,27 \pm 5,02	30,78 \pm 6,81	0,577	0,384	0,161

GC, grupo controle; GEX, grupo *ex vivo*; GBIO, grupo biomodelo; R, reconstrução; T, tomografia

* = efeito do grupo avaliado pelo teste de Kruskal-Wallis

** = efeito do tipo de avaliação *ex vivo* vs biomodelo avaliado pelo teste de Friedman

*** = efeito do tipo de avaliação Reconstrução vs Tomografia avaliado pelo teste de Friedman.

$P<0,05$

Tabela 2. Bias \pm DP dos ângulos dos grupos em relação ao controle.

	Grupos			
	Reconstrução		Tomografia	
	Cadáver	Protótipo	Cadáver	Protótipo
C5				
D	-0,36 \pm 6,28	5,20 \pm 4,05	3,22 \pm 3,40	2,95 \pm 5,02
E	3,25 \pm 5,18	4,76 \pm 4,73	4,99 \pm 6,94	7,75 \pm 11,4
C6				
D	1,86 \pm 8,84	3,53 \pm 3,86	4,91 \pm 6,93	-1,37 \pm ,76
E	0,58 \pm 2,47	4,29 \pm 3,99	-2,82 \pm 3,18	1,68 \pm 8,39

Discussão

Nossos resultados sugerem a viabilidade do uso de guias de perfuração impressos em 3D paciente-específico para a orientação da trajetória de parafusos pediculares na região cervical caudal de cães. Este estudo permitiu a perfuração precisa de 40 parafusos pediculares em 5 cadáveres de cães e seus respectivos biomodelos. Os resultados das perfurações obtidas com o auxílio do GP3D seriam considerados aceitáveis se criados em um cenário clínico em cães.

Mariani et al,²⁰ avaliaram guias de perfuração impressos em 3D para perfuração nas vértebras T8 a T13 de 5 cadáveres caninos. O desvio angular médio foi 5,1° (intervalo, 1,5°-10,8°) e não ocorreram violações ósseas indesejadas nos ossos dos cadáveres. No presente estudo, embora seja voltado para as vértebras cervicais, o ângulo médio do desvio dos parafusos nas vértebras C5 e C6 por meio da reconstrução 3D foi de -2,89° ($\pm 5,12$) e pelo método de avaliação na imagem tomográfica foi de 2,6° ($\pm 7,3$). Hamilton-Bennett et al,¹⁵ avaliaram a perfuração de 32 parafusos na coluna cervical e a maioria (29/32) desses parafusos foram alocados sem evidência de ruptura do canal vertebral. Fujioka et al,²¹ avaliaram a perfuração de 29 parafusos em vértebras toracolombares de cães e observaram que 89,6% desses parafusos foram colocados sem evidência de invasão no canal medular. O desvio médio geral do parafuso foi de 1,16 \pm 0,56 mm.

Os desvios das angulações dos parafusos podem estar relacionados à fatores intrínsecos relacionados ao processo de aplicação do GP3D. Segundo Fujioka et al,²¹ a carga da broca durante o procedimento pode gerar micromovimentos durante a perfuração, suficiente para proporcionar um desvio mínimo. Ademais as brocas devem estar extremamente afiadas, uma vez que a resistência da oscilação da broca no momento da inserção é suficiente para o desvio da perfuração. Mariani et al,²⁰ utilizou uma broca de 2,5 mm sem a perfuração de um orifício piloto para parafusos na coluna toracolombar de cães com auxílio de guia cirúrgico e relatou que mesmo que a broca tenha sido restringida pelo guia, há possibilidade de ocorrer o deslizamento da broca. No presente estudo, para prevenir o deslocamento do GP3D, realizou-se a fixação temporal em um dos orifícios do guia com auxílio de um pino para iniciar a perfuração do lado contralateral.

O objetivo de utilizar biomodelos neste estudo, foi para promover contraprova

à aplicação do guia. Biomodelos ósseos são cópias fidedignas da estrutura anatômica obtida a partir de exames de imagem²². No presente estudo os desvios das trajetórias dos parafusos entre biomodelos e espécime não apresentaram diferença significativa. Os modelos ósseos não apresentam tecido mole adjacente, sendo um modelo de estudo limitado, uma vez que é essencial que todos os tecidos moles adjacentes e na superfície vertebral sejam removidos. A adequada dissecação de tecidos moles permite otimizar o ajuste do guia no corpo vertebral, evitando assim o direcionamento incorreto dos orifícios piloto nos cadáveres¹⁵. No presente estudo, a presença de tecido mole adjacente não dificultou a aplicação do GP3D, uma vez que foi um estudo cadavérico o que permitiu maior dissecação sem intercorrências. Projetando-se para um estudo clínico, pode-se dizer que a remoção do tecido mole é um dos principais desafios quando os GP3D são aplicados²³.

Deve ressaltar que para a avaliação dos parafusos componentes inerentes à realização do exame de tomografia computadorizada devem ser considerados. Minimização de artefatos pela utilização de parafuso de titânio em vez do aço inoxidável são detalhes que melhoraram a precisão ao determinar a posição do parafuso pedicular^{15,21}. As espessuras do corte das imagens tomográficas influenciam na perda da definição da imagem²⁴. Neste contexto, optamos em cortes de 1 mm, uma vez que cortes maiores que resultariam em perda da definição da imagem. Além disso, a inclinação do pórtico da mesa deve ser considerada porque influencia na precisão da medição do parafuso²⁵. Mariani et al,²⁰ observou em seu estudo que as imagens de tomografia computadorizada pré e pós-operatória não foram capturadas em locais de corte idênticos, e isso pode levar a uma pequena quantidade de erro para a medição dos ângulos.

Até o momento, os estudos relataram diferentes conformações de guias com alta precisão verificados por avaliação pós-operatória por TC, sendo que não há nenhum consenso sobre o *design* de um modelo de guia mais seguro e preciso em humanos²⁶. O mesmo se aplica na veterinária. O modelo do GP3D, neste estudo, foi projetado para cobrir toda a superfície ventral do corpo vertebral de modo que possa se fixar no osso com perfurações bilaterais. Uma vez que, a colocação do guia somente para o encaixe com a orientação no pedículo vertebral, sem recobrimento vertebral pode contribuir para a imprecisão do procedimento²⁷.

A maioria dos trabalhos limita-se mensurar a trajetória dos parafusos com base na TC^{15, 21, 27, 28}. No presente estudo, além da mensuração das imagens tomográfica, fora realizada a mensuração das imagens por meio de reconstrução 3D com base nas imagens adquiridas pela TC. Embora não tenha havido diferença estatística significativa, diferenças nos valores das médias foram observados. Neste contexto, sugere-se estudos específicos da acurácia da mensuração da reconstrução 3D com imagem tomográfica.

A inserção do parafuso no pedículo vertebral da coluna cervical de cães é desafiadora devido a um estreito corredor de implante e consequências graves podem ocorrer pela falha na fixação do parafuso, como danos a vascularização ou penetração no canal medular¹⁶. Nosso estudo, mostra a importância de planejar a angulação específica para o paciente de acordo com suas particularidades anatômicas de modo a evitar possíveis complicações. No estudo por Corlazzoli, et al,¹⁶ foi identificada uma variação considerável entre os cães de mesma raça e entre as vértebras dos mesmos cães. Isso pode ser explicado por diferenças anatômicas existentes entre cada terço de cada vértebra e por diferenças entre cães de mesma raça.

A principal limitação do estudo é que não houve um ensaio clínico e não foi possível observar possíveis complicações transoperatórias relacionadas principalmente aos danos aos vasos sanguíneos e complicações pós-operatórias a curto e a longo prazo. Outra limitação deste estudo é o número baixo de cadáveres e de parafusos, com um grupo maior de estudo a precisão poderia ser mais estabelecida.

O uso de GP3D deve facilitar o procedimento cirúrgico de estabilização cervical em cães, entretanto não deve ser uma alternativa à cirurgias inexperientes. Pelo contrário, deve ser realizada por uma equipe multidisciplinar de neurocirurgiões que passaram por uma curva de aprendizado cadavérica antes de introduzir a técnica na prática clínica. Ademais, o uso GP3D não substitui o uso fluoroscópios, radiografia transoperatório e navegadores cirúrgicos, portanto, este modelo deve ser usado como complemento às modalidades de imagens transoperatórias.

Referências

1. Scott, H, Shihab, N, Raimondi, F. Canine wobbler syndrome study. *Vet Rec.* 2013;173 (17): 428. doi: 10.1136/vr.f6532.
2. Da Costa, RC. Cervical spondylomyelopathy (wobbler syndrome) in dogs. *Vet Clin North Am Small Anim Pract.* 2010; 40(5): 881-913. doi: 10.1016/j.cvsm.2018.11.005.
3. McKee, WM, Butterworth, SJ, Scott, HW. Management of cervical spondylopathy associated intervertebral disc protrusions using metal washers in 78 dogs. *J Small Anim Pract.* 1999;40(10):465–72. doi: 10.1111/j.1748-5827.1999.tb02997.x.
4. Trotter, EJ. Cervical spine locking plate fixation for treatment of cervical spondylotic myelopathy in large breed dogs. *Vet Surg.* 2009;38(6):705–18. doi: 10.1111/j.1532-950X.2009.00541.x.
5. Adrega Da Silva, C, Bernard, F, Bardet, JF. Caudal cervical arthrodesis using a distractable fusion cage in a dog. *Vet Comp Orthop Traumatol.* 2010;23(3): 209–13. doi: 10.3415/VCOT-09-02-0025.
6. Kothe, R, Ruther, W, Schneider, E, Linke, B. Biomechanical analysis of transpedicular screw fixation in the subaxial cervical spine. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29:1869-1875. doi: 10.1097/01.brs.0000137287.67388.0b.
7. Johnston, TL, Karaikovic, EE, Lautenschlager, EP, Marcu, D. Cervical pedicle screws vs. lateral mass screws: uniplanar fatigue analysis and residual pullout strengths. *Spine J.* 2006;6:667-672. doi: 10.1016/j.spinee.2006.03.019
8. Chazono, M, Soshi, S, Inoue, T, Kida, Y, Ushiku, C. Anatomical considerations for cervical pedicle screw insertion: the use of multiplanar computerized tomography reconstruction measurements. *J Neurosurg Spine.* 2006; 4(6): 472-477. doi: 10.3171/spi.2006.4.6.472.
9. Mathew, JE, Mok, K, Goulet, B. Pedicle violation and navigational errors in pedicle screw insertion using the intraoperative O-arm: a preliminary report. *Int J Spine Surg.* 2013; 1(7): 88-94. doi: 10.1016/j.ijssp.2013.06.002.
10. Watine, S, Cabassu, JP, Catheland, S, Brochier, L, vanoff S. Computed tomography study of implantation corridors in canine vertebrae. *J Small Anim Pract.* 2006; 47(11), 651-657. doi:10.1111/j.1748-5827.2006.00070.x

11. Du, JP, Fan Y, Wu, QN, Zhang, J, Hao, DJ. Accuracy of pedicle screw insertion among 3 image-guided navigation systems: systematic review and meta-analysis. *World neurosurg.* 2018; 109:24-30. doi:10.1016/j.wneu.2017.07.154.
12. Fichtner, J, Hofmann, N, Rienmüller, A, Buchmann, N, Gempt, J, Kirschke, JS, Ryang, YM. Revision rate of misplaced pedicle screws of the thoracolumbar spine—comparison of three-dimensional fluoroscopy navigation with freehand placement: a systematic analysis and review of the literature. *World neurosurg.* 2018; 109:24-32. doi: 10.1016/j.wneu.2017.09.091
13. Lin, CW, Chang, CC, Chen HT, Chen, YJ, Lin CS, Hsu, HC, Tsou, HK. 3D Real- Time Image-Guided Navigation Spine Corpectomy with Ultrasonic Bone Cutter. *World Neurosurg.* 2020; 135:197-204. doi: 10.1016/j.wneu.2019.10.186.
14. Singer, G. Occupational radiation exposure to the surgeon. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015; 13 (1): 69-76. doi: 10.5435/00124635-200501000-00009.
15. Hamilton-Bennett, SE, Oxley, B, Behr, S. Accuracy of a patient-specific 3D printed drill guide for placement of cervical transpedicular screws. *Vet Surg.* 2018;47(2):236–242. doi: 10.1111/vsu.12734
16. Corlazzoli, D. Bicortical implant insertion in caudal cervical spondylomyelopathy: a computed tomography simulation in affected Doberman Pinschers. *Vet Surg.* 2008; 37:178–185. doi: 10.1111/j.1532- 950X.2007.00356.x.
17. Wu, AM, Shao, ZX, Wang, JS, Yang, XD, Weng, WQ, Wang, XY., Lin ZK The accuracy of a method for printing three-dimensional spinal models. *PLoS One.* 2015; 10 (4): e0124291. doi: 10.1371/journal.pone.0124291.
18. Tack, P, Victor J, Gemmel, P, Annemans, L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomed Eng Online.* 2016; 15 (1): 115. doi: 10.1186/s12938-016-0236-4.
19. Tang J, Zhu Z, Sui T, Kong D, CaoX. Position and complications of pedicle screw insertion with or without image-navigation techniques in the thoracolumbar spine: A meta-analysis of comparative studies (2014). *Journal of Biomedical Reserch.* 28(3):228-239. doi: 10.7555/JBR.28.20130159
20. Mariani CL, Zlotnick JA, Harrysson O, Marcellin-Little DJ, Malinak K, Gavitt A, Guevar J. Accuracy of three-dimensionally printed animal-specific drill guides for implant

- placement in canine thoracic vertebrae: A cadaveric study. *Vet Surg.* 2021; 50(2):294-302. doi: 10.1111/vsu.13557
21. Fujioka T, Nakata K, Nishida H, Sugawara T, Konno N, Maeda S, Kamishina H. A novel patient-specific drill guide template for stabilization of thoracolumbar vertebrae of dogs: cadaveric study and clinical cases. *Vet Surg.* 2019; 48(3):336-342. doi: 10.1111/vsu.13140
 22. Lohfeld S, Barron V, McHugh PE. Biomodels of bone: a review. *Ann Biomed Eng.* 200; 33(10):1295-311. doi: 10.1007/s10439-005-5873-x
 23. Azimifar F, Hassani K, Hossein Saveh A, Izadi F. A New Template and Teleoperation System for Human-Guided Spine Surgery. *Artif Organs.* 2019; 43(4):424-434. doi: 10.1111/aor.13358.
 24. Kim HS, Heller JG, Hudgins PA, Fountain JA. The accuracy of computed tomography in assessing cervical pedicle screw placement. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003;1;28(21):2441-6. doi: 10.1097/01.BRS.0000090830.94641
 25. Aoude AA, Fortin M, Figueiredo R, Jarzem P, Ouellet J, Weber MH. Methods to determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review. *Eur Spine J.* 2015; 24(5):990-1004. doi: 10.1007/s00586-015-3853-x
 26. Pijpker PAJ, Kraeima J, Witjes MJH, Oterdoom DLM, Coppes MH, Groen RJM, Kuijlen JMA. Accuracy Assessment of Pedicle and Lateral Mass Screw Insertion Assisted by Customized 3D-Printed Drill Guides: A Human Cadaver Study. *Oper Neurosurg (Hagerstown).* 2019;16(1):94-102. doi: 10.1093/ons/opy060
 27. Kamishina H, Sugawara T, Nakata K, Nishida H, Yada N, Fujioka T, Nagata Y, Doi A, Konno N, Uchida F, Maeda S. Clinical application of 3D printing technology to the surgical treatment of atlantoaxial subluxation in small breed dogs. *PLoS One.* 2019;14(5):e0216445. doi: 10.1371/journal.pone.0216445
 28. Fujioka T, Nakata K, Nakano Y, Nozue Y, Sugawara T, Konno N, Maeda S, Kamishina H. Accuracy and Efficacy of a Patient-Specific Drill Guide Template System for Lumbosacral Junction Fixation in Medium and Small Dogs: Cadaveric Study and Clinical Cases. *Front Vet Sci.* 2020; 6:494. doi: 10.3389/fvets.2019.00494

Agradecimentos

Empresa Vetcraft 3D® que contribuiu para a confecção do guia de perfuração cirúrgico.

VD que contribuiu na realização das tomografias computadorizadas.

Contribuição dos autores

TASSR contribuiu para a criação e aplicação do guia de perfuração cirúrgico e escrita da dissertação. LGGD e BWM participaram na análise e interpretação dos dados e preparação da dissertação. JAGN, FBSS e AD contribuíram para a dissecação cadavérica, aplicação do guia de perfuração cirúrgico e na realização da tomografia computadorizada, análise dos dados e escrita final. Todos os autores leram e aprovaram a dissertação final.

Financiamento

FAPESP (2018/248594)

Conflito de interesse

Os autores declaram não haver conflito de interesse no artigo

CAPÍTULO 3 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso de parafusos pediculares na coluna cervical possui propriedades biomecânicas superiores e resultados satisfatórios. Mas, podem apresentar um risco iatrogênico à lesão de estruturas vitais, incluindo artéria vertebral, raízes nervosas e medula espinhal. A importância no desenvolvimento do guia de perfuração 3D paciente-específico permitiu a orientação precisa e com ótimo estoque ósseo dos parafusos no pedículo vertebral, conseqüentemente, a diminuição à lesões de estruturas adjacentes. O presente trabalho demonstrou resultado satisfatório da aplicação da tecnologia de impressão 3D para estabilização cervical caudal.

Deve ressaltar que o uso GP3D não substitui o uso fluoroscópios, radiografia transoperatório e navegadores cirúrgicos, portanto, este modelo deve ser usado como complemento às modalidades de imagens transoperatórias.

Dentre as limitações deste estudo, o experimento em cadáveres não permitiu observar possíveis complicações transoperatórias relacionadas principalmente aos danos aos vasos sanguíneos e complicações pós-operatórias. Além disso o número baixo de cadáveres e de parafusos com um grupo maior de estudo a precisão poderia ser mais estabelecida. Projeta-se por meio deste estudo ensaios clínico da aplicação do GP3D em animais com instabilidade cervical caudal.

ANEXO 1 – Normas do periódico “Veterinary Surgery”

<https://onlinelibrary.wiley.com/page/journal/1532950x/homepage/forauthors.html>