

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE QUATRO TÉCNICAS
DE ESTABILIZAÇÃO VENTRAL DA ARTICULAÇÃO
ATLANTOAXIAL DE CÃO**

**Danyelle Rayssa Cintra Ferreira
Médica Veterinária**

2019

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA – UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE QUATRO TÉCNICAS
DE ESTABILIZAÇÃO VENTRAL DA ARTICULAÇÃO
ATLANTOAXIAL DE CÃO**

Discente: Danyelle Rayssa Cintra Ferreira

Orientador: Prof. Dr. Luís Gustavo Gosuen Gonçalves Dias

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

F383a Ferreira, Danyelle Rayssa Cintra
Avaliação biomecânica de quatro técnicas de estabilização
ventral da articulação atlantoaxial de cão / Danyelle Rayssa
Cintra Ferreira. -- Jaboticabal, 2020
74 p. : tabs., fotos

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista
(Unesp), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias,
Jaboticabal
Orientador: Luís Gustavo Gosuen Gonçalves Dias

1. Cirurgia veterinária. 2. Coluna vertebral. 3. Dor cervical. 4.
Cão. 5. Implantes ortopédicos. I. Título.

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

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Jaboticabal



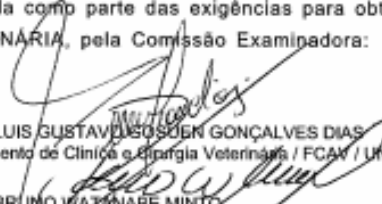
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO: AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE QUATRO TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO VENTRAL DA ARTICULAÇÃO ATLANTOAXIAL DE CÃO

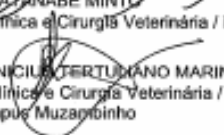
AUTORA: DANYELLE RAYSSA CINTRA FERREIRA

ORIENTADOR: LUIS GUSTAVO GOSUEN GONÇALVES DIAS

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


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


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


Prof. Dr. PAULO VINÍCIUS TERTULIANO MARINHO
Departamento de Clínica e Cirurgia Veterinária / Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sul de Minas Gerais - Campus Muzambinho

Jaboticabal, 20 de fevereiro de 2020

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Danyelle Rayssa Cintra Ferreira, nascida no município de São Luís, estado do Maranhão, aos quinze dias do mês de abril de 1992. Ingressou no curso de Medicina Veterinária na Universidade Federal Rural de Pernambuco (UFRPE) em 2010. Nessa instituição, realizou estágios na área de Clínica Médica e Cirúrgica de Pequenos Animais do primeiro ao décimo primeiro semestres da graduação, com ênfase em Ortopedia e Neurologia Clínica e Cirúrgica a partir do quinto semestre. Foi aluna de Iniciação Científica por dois anos e monitora das disciplinas de Técnica Cirúrgica Veterinária e Parasitologia Veterinária. Obteve o título de Médica Veterinária em 2015, recebendo prêmio de honra ao mérito como aluna laureada do curso de Medicina Veterinária da UFRPE. Entre os anos de 2016 e 2018, participou do Programa de Residência Integrada em Medicina Veterinária como residente em Clínica Cirúrgica de Pequenos Animais do Hospital Veterinário da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Atualmente é aluna de mestrado do Programa de Pós-Graduação em Cirurgia Veterinária da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, ao qual ingressou em 2018.

EPIÍGRAFE

“Tudo é importante na vida. Os pequenos atos são preparatórios dos gestos grandiosos e das realizações vultosas”.

Joanna de Ângelis

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho àqueles a quem
mais amo, meus pais Galdino e
Marineide e minha irmã Lorena.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pela força, amparo e proteção em todos os momentos.

Aos meus pais, Galdino e Marineide, pelo amor incondicional, pela educação e princípios morais e por nunca medirem esforços para proporcionar uma educação de qualidade. Obrigada por serem meus maiores e melhores exemplos de vida e por me ensinarem que através dos sonhos, estudos e auxílio ao próximo, se conquista os grandes feitos. Não sou nada sem você, amo-os muito.

A minha irmã, Loreнна, por todo amor, companheirismo, estímulo e acalento em todos os momentos da minha vida. Não me imagino sem você do lado. Te amo.

Ao meu orientador, Prof. Luís Gustavo, por todo auxílio, oportunidades, ensinamentos e por acreditar e me estimular a ser melhor cada dia.

Ao Dayvid, por todo companheirismo, ajuda, compreensão e ensinamentos. Por sempre torcer e acreditar em mim e por vibrar pelo o que há de melhor. Obrigada por compartilhar tantos bons momentos e por ser tão desse jeitinho.

Ao Caio, pela parceria e compartilhamento de momentos. Pelo entendimento só no olhar e por se esforçar, se doar e ajudar sempre e incondicionalmente.

À Marcella, por todo companheirismo e por compartilhar comigo seu lar. Por ter um abraço-casa e por me dar a oportunidade de ser tia pet adotiva do Paco e da Georgia.

Aos demais integrantes do Laboratório de Ortopedia e Neurocirurgia da FCAV/Unesp, pela parceria e construção de um serviço aprimorado e unido, em especial ao Prof. Bruno e à Maria Eduarda.

Ao demais professores e funcionários do Hospital Veterinário da FCAV/Unesp que, com muita dedicação e carinho, prestam seus fundamentais serviços de maneira tão leve e bela, em especial à dona Izildinha, Josi e dona Dalva, que nunca tiraram o sorriso do rosto e são donas de um abraço tão acalentador.

Aos meus melhores amigos e demais familiares, os quais, mesmo distantes, vibram e torcem por cada conquista. Obrigada pela amizade confortante, capaz de atravessar as barreiras do tempo e distância.

À Chloe e Pandora, pelo amor e fiel companheirismo. Basta um olhar doce ou um abanar de rabo para fazer meu coração se encher de alegria.

À minha eterna Vovó Lala. Palavras são insuficientes para expressão minha eterna gratidão e amor. Te amo e continue olhando por mim, seja onde for.

À empresa Focus, pela parceria ao fornecer os implantes utilizados nesse estudo.

Ao Prof. Antônio Carlos Shimano, pelo auxílio durante a execução e interpretação dos testes biomecânicos.

À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil - Código de financiamento 001 pela oportunidade concedida ao financiar os primeiros meses de bolsa.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

À FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo nº 2018/03464-1) pelo apoio financeiro essencial para realização dessa pesquisa.

A todos, o meu muito obrigada.

SUMÁRIO

	Página
CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS.....	ii
RESUMO.....	iii
ABSTRACT.....	iv
LISTA DE ABREVIATURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE FIGURAS.....	vii
CAPÍTULO 1 – Considerações gerais.....	1
Introdução.....	1
Revisão de literatura.....	1
1. Anatomia da primeira e segunda vértebras cervicais.....	1
2. Subluxação atlantoaxial (SAA).....	4
2.1. Características biomecânicas da articulação atlantoaxial e de determinados métodos de estabilização da SAA.....	9
3. Opções de protótipos para avaliação biomecânica.....	10
4. Guias de perfuração tridimensionais.....	11
Objetivos.....	13
1. Objetivo geral.....	13
2. Objetivos específicos.....	13
Referências.....	14
CAPÍTULO 2 - Avaliação biomecânica de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães.....	19
Resumo.....	19
Introdução.....	20
Material e métodos.....	21
Corpos de prova.....	21
Guias de perfuração tridimensionais atlantoaxiais.....	22
Implantes.....	23
Técnicas cirúrgicas de estabilização atlantoaxial ventral.....	24
Testes biomecânicos.....	25
Análise estatística.....	26
Resultados.....	27
Discussão.....	29
Agradecimentos.....	35
Conflito de interesses.....	35
Referências.....	35
APÊNDICE.....	45
Apêndice A – Material ilustrativo suplementar.....	46
ANEXO 1 – Normas do periódico “Veterinary Record”.....	48

CERTIFICADO DA COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS



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 **“Avaliação biomecânica de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cão, utilizando corpos de prova com prototipagem rápida 3d”**, protocolo nº 007869/18, sob a responsabilidade do Prof. Dr. Luis Gustavo Gosuen Gonçalves Dias, que envolve a produção, manutenção e/ou utilização de animais pertencentes ao Filo Chordata, subfilo Vertebrata (exceto o homem), para fins de pesquisa científica (ou ensino) - encontra-se de acordo com os preceitos da lei nº 11.794, de 08 de outubro de 2008, no decreto 6.899, de 15 de julho de 2009, e com as normas editadas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal (CONCEA), e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA NO USO DE ANIMAIS (CEUA), da FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS, UNESP - CÂMPUS DE JABOTICABAL-SP, em reunião ordinária de 14 de junho de 2018.

Vigência do Projeto	01/08/2018 a 01/08/2020
Espécie / Linhagem	Corpos de prova sintéticos prototipados
Nº de animais	28 corpos de prova
Peso / Idade	Não se aplica
Sexo	Não se aplica
Origem	Materiais sintéticos e implantes metálicos

Jaboticabal, 14 de junho de 2018.

Fabiana Pilarski
Profª Drª Fabiana Pilarski
Coordenadora – CEUA

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

AVALIAÇÃO BIOMECÂNICA DE QUATRO TÉCNICAS DE ESTABILIZAÇÃO VENTRAL DA ARTICULAÇÃO ATLANTOAXIAL DE CÃO

RESUMO - O objetivo desse estudo foi comparar, após avaliação biomecânica sob carga de flexão ventral, quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães, utilizando corpos de prova prototipados e guias de perfuração tridimensionais atlantoaxiais (GP3DAA). Vinte e oito corpos de prova, os quais representavam modelos caninos de atlas e áxis em condição de subluxação por agenesia do processo odontoide, foram impressos tridimensionalmente em ácido poli-lático e distribuídos igualmente em quatro grupos. Cada grupo representava uma técnica de estabilização ventral da articulação atlantoaxial: parafusos poliaxiais, parafusos transarticulares com efeito compressivo, múltiplos parafusos e cimento ósseo (PMMA) e nova placa atlantoaxial. Três GP3DAA foram confeccionados e cada qual foi utilizado durante a execução de uma das seguintes técnicas: parafusos poliaxiais, parafusos transarticulares e múltiplos parafusos e PMMA. Ao término das implantações, os corpos de prova foram submetidos à avaliação biomecânica sob carga de flexão ventral e, após obtenção dos resultados, foi possível comparar as técnicas. Todos os quatro métodos de estabilização foram capazes de realizar o suporte de carga fisiológica sem indícios de falha, todavia, o método de múltiplos parafusos e PMMA revelou-se significativamente mais rígido ($p \leq 0,05$) que as demais técnicas. A construção cimentada também foi a que melhor resistiu ao aumento agudo de carga de flexão ventral, suportando força máxima significativamente maior ($p \leq 0,05$) que os outros métodos. Não houve diferença estatística na resistência à flexão entre os grupos dos parafusos transarticulares e da placa atlantoaxial. O método dos parafusos poliaxiais foi significativamente menos resistente ($p \leq 0,05$) à flexão que os demais grupos. Portanto, a técnica de múltiplos parafusos e cimento ósseo revelou importantes vantagens biomecânicas, apresentando-se menos propensa à falha que os demais métodos avaliados.

Palavras-chave: atlas, áxis, guia de perfuração tridimensional, instabilidade atlantoaxial, processo odontoide

BIOMECHANICAL EVALUATION OF FOUR VENTRAL STABILIZATION TECHNIQUES OF THE ATLANTOAXIAL JOINT OF DOG

ABSTRACT - The aim of this study was to compare, after biomechanical evaluation under ventral flexion load, four ventral stabilization techniques of the atlantoaxial joint of dogs, using 3D printing prototypes and atlantoaxial three-dimensional drill guide (AA3DDG). Twenty-eight prototypes, which represented atlas and axis models of dogs in subluxation condition due to agenesis of the odontoid process, were printed three-dimensionally in polylactic acid and distributed into four groups. Each group represented a ventral stabilization technique of the atlantoaxial joint: poliaxial screws, transarticular lag screws, multiple screws and bone cement (PMMA) and a novel atlantoaxial plate. Three AA3DDG were manufactured and each was used while performing one of the following techniques: poliaxial screws, transarticular lag screws and multiple screws and PMMA. After performing the techniques, the prototypes were submitted to biomechanical evaluation under ventral flexion load and, after obtaining the results, it was possible to compare the techniques. All four stabilization methods were able to perform physiological load support without evidence of failure, however, the multiple screws and PMMA method proved to be significantly more rigid ($p \leq 0.05$) than the other techniques. The cemented construction was also the one that best resisted the acute increase in the load of ventral flexion, supporting maximum force significantly greater ($p \leq 0.05$) than the other methods. There was no statistical difference in flexural strength between the transarticular lag screws and atlantoaxial plate groups. The poliaxial screws method was significantly less resistant ($p \leq 0.05$) to flexion than the other groups. Therefore, the multiple screw and bone cement technique revealed important biomechanical advantages, being less prone to failure than the other methods evaluated.

Keywords: atlantoaxial instability, atlas, axis, odontoid process, three-dimensional drill guide

LISTA DE ABREVIATURAS

%: porcentagem

3D: tridimensional

C1: primeira vértebra cervical (atlas)

C2: segunda vértebra cervical (áxis)

C1-C2: articulação atlantoaxial

CEUA: Comissão de Ética no Uso de Animais

DLP/SLA: “Direct Light Processing”/“Stereolithography”

DP: desvio-padrão

FCAV: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias

g: grama

GP3D: guia de perfuração tridimensional

GP3DAA: guia de perfuração tridimensional atlantoaxial

GP3DM: guia de perfuração tridimensional múltiplo

GP3DPAX: guia de perfuração tridimensional poliaxial

GP3DTA: guia de perfuração tridimensional transarticular

kg: quilograma

kgf: quilograma-força

min: minuto

mL: mililitro

mm: milímetro

N: Newton

NCAC: navegação cirúrgica assistida por computador

PLA: “polylactic acid” – ácido poli-lático

PLAA: placa atlantoaxial

PMMA: polimetilmetacrilato

PPAX: parafusos poliaxiais

PPMMA: múltiplos parafusos e cimento ósseo

PTA: parafusos transarticulares com efeito compressivo

SAA: subluxação atlantoaxial

STL: “Standard Tessellation Language”

TC: tomografia computadorizada

UNESP: Universidade Estadual Paulista

LISTA DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Média e desvio padrão da rigidez (N/mm) dos corpos de prova, no teste de força de flexão ventral, sob carga de 25N em quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães.....	27
Tabela 2. Média e desvio padrão da deflexão (mm) sofrida pelos corpos de prova, no teste de força de flexão ventral, sob carga de 25N em quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães.....	28
Tabela 3. Média e desvio padrão da força máxima (N) suportada pelos corpos de prova, no teste de força de flexão ventral, antes da falha em quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães.....	28

LISTA DE FIGURAS

Página

CAPÍTULO 1

Figura 1. Imagens fotográficas da primeira vértebra cervical (atlas) de cão. **A)** Vista dorsal; **B)** Vista ventral; **C)** Vista craniocaudal; **D)** Vista caudocranial. (*A*) asa do atlas; (*ad*) arco dorsal; (*av*) arco ventral; (*fcr*) face articular cranial (articulação com os côndilos do occipital); (*fcd*) face articular caudal (articulação com os processos articulares craniais do áxis); (+) incisura alar; (^) forame vertebral lateral; (*) forame transverso; (>) tubérculo ventral; (#) fôvea do dente; (*Cr*) cranial; (*Cd*) caudal..... 2

Figura 2. Imagens fotográficas da segunda vértebra cervical (áxis) de cão. **A)** Vista lateral. Nota-se a discreta inclinação dorsal do processo odontoide (*); **B)** Vista ventral; **C)** Vista caudocranial. (*cv*) corpo vertebral; (*fcr*) faceta articular cranial (articulação com a face articular caudal de C1); (*fcd*) faceta articular caudal (articulação com os processos articulares craniais de C3); (*pe*) processo espinhoso; (*) dente (processo odontoide); (#) forame transverso; (+) crista ventral; (>) processo trasnverso; (*Cr*) cranial; (*Cd*) caudal..... 3

Figura 3. Imagens fotográficas da primeira e segunda vértebras cervicais posicionadas de forma a representar a articulação atlantoaxial. Ausência das estruturas ligamentosas que compõem a articulação. **A)** Vista dorsolateral de C1 e C2 parcialmente articuladas. Nota-se o encaixe da face articular caudal de C1 com o processo articular cranial de C2 e a acomodação do processo odontoide na fôvea do dente; **B)** Vista craniocaudal de C1 e C2 articuladas. Nota-se a acomodação do processo odontoide na fôvea do dente (presente na face dorsal do arco ventral de C1); **C)** Vista ventral de C1 e C2 articuladas..... 4

CAPÍTULO 2

Figura 1. Imagens fotográficas do corpo de prova confeccionado por impressão 3D e representando o aspecto ventral da primeira e segunda vértebras cervicais de cão em modelo de subluxação atlantoaxial. **A)** Vista dorsal; **B)** Vista oblíqua. (*C1*) primeira vértebra cervical (atlas); (*C2*) segunda vértebra cervical (áxis); (*) bloco de fixação cranial; (**) bloco de fixação caudal; (#) ligações dorsais removíveis nos aspectos dorsais de C1 e C2; (*Cr*) cranial; (*Cd*) caudal..... 39

Figura 2. Imagens fotográficas dos guias de perfuração tridimensionais (GP3D) atlantoaxiais e do molde de PMMA posicionados nos corpos de prova. **A)** Guia de perfuração tridimensional transarticular (GP3DTA). Vista dorsolateral; **B)** Guia de perfuração tridimensional poliaxial (GP3DPAX). Vista dorsocaudal; **C)** Guia de perfuração tridimensional múltiplo (GP3DM). Vista dorsolateral; **D)** Molde para acomodação do PMMA na técnica de PPMMA. Nota-se presença de parafusos corticais já implantados e molde envolvendo-os. Vista dorsolateral. (*C1*) primeira vértebra cervical (atlas); (*C2*) segunda vértebra cervical (áxis); (*) forame transverso de C1; (+) processo transverso de C2; (>) crista

ventral de C2; (#) GP3D atlantoaxiais; (^) molde para acomodação do PMMA; (Cr) cranial; (Cd) caudal.....	40
Figura 3. Imagens fotográficas de um corpo de prova de cada grupo ao término da execução das técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial. A) Parafusos transarticulares de efeito compressivo (PTA); B) Parafusos poliaxiais (PPAX); C) Múltiplos parafusos e cimento ósseo (PPMMA); D) Placa bloqueada atlantoaxial (PLAA). (Cr) cranial; (Cd) caudal.....	41
Figura 4. Representação gráfica dos valores de rigidez (N/mm), sob carga de flexão ventral de 25N, das quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães. (PTA) parafusos transarticulares com efeito compressivo; (PPAX) parafusos poliaxiais; (PPMMA) múltiplos parafusos e cimento ósseo; (PLAA) placa bloqueada atlantoaxial.....	42
Figura 5. Representação gráfica dos valores de deflexão (mm), sob carga de flexão ventral de 25N, das quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães. (PTA) parafusos transarticulares com efeito compressivo; (PPAX) parafusos poliaxiais; (PPMMA) múltiplos parafusos e cimento ósseo; (PLAA) placa bloqueada atlantoaxial.....	43
Figura 6. Representação gráfica dos valores de força máxima (N), sob carga de flexão ventral, das quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães. (PTA) parafusos transarticulares com efeito compressivo; (PPAX) parafusos poliaxiais; (PPMMA) múltiplos parafusos e cimento ósseo; (PLAA) placa bloqueada atlantoaxial.....	44

APÊNDICE A

Figura 1A. Imagens fotográficas de corpos de prova do grupo parafusos transarticulares de efeito compressivo (PTA) após a segunda fase dos testes biomecânicos. (>) Nota-se fraturas e fissura da porção cranial do corpo do eixo, no local de implantação dos parafusos.....	46
Figura 2A. Imagem fotográfica de corpo de prova do grupo múltiplos parafusos e cimento ósseo (PPMMA) após a segunda fase dos testes biomecânicos. Nota-se fratura do manto de cimento ósseo no espaço articular entre atlas e eixo.....	46
Figura 3A. Imagens fotográficas de corpo de prova do grupo placa atlantoaxial (PLAA) antes (A) e depois (B) da segunda fase dos testes biomecânicos. Nota-se aumento da distância atlantoaxial dorsal ao final dos testes.....	47
Figura 4A. Imagens fotográficas de corpo de prova do grupo parafusos poliaxiais (PPAX) antes (A) e depois (B) da segunda fase dos testes biomecânicos. Nota-se substancial aumento da distância atlantoaxial dorsal ao final dos testes.....	47

CAPÍTULO 1 – Considerações gerais

Introdução

A subluxação atlantoaxial (SAA) caracteriza-se por instabilidade articular entre a primeira (C1) e a segunda (C2) vértebra cervical, ocasionando o deslocamento dorsal da porção cranial do corpo vertebral de C2 em relação à C1 e, portanto, em direção ao canal vertebral (Stalin et al., 2015). Esta afecção usualmente acomete cães de raça “toy” ou miniatura e os sinais clínicos geralmente desenvolvem-se com menos de dois anos de idade. Desta forma, a estabilização cirúrgica da articulação atlantoaxial torna-se desafiadora, devido aos estreitos e frágeis corredores ósseos disponíveis para a passagem dos implantes, o que predispõe ao maior risco de dano iatrogênico à medula espinhal e a outras estruturas vertebrais e neurovasculares importantes.

Há diversas descrições de técnicas de estabilização da articulação atlantoaxial, porém um método de fixação ideal ainda não foi reconhecido. A maioria dos estudos que avaliam os resultados e complicações das diferentes técnicas empregadas é baseado em observações clínicas retrospectivas de baixa amostragem, faltando, portanto, estudos biomecânicos que avaliam novos métodos de estabilização e os comparam com os mais usualmente empregados.

Portanto, buscando novas contribuições científicas e com relevância clínica, o presente estudo se propõe a avaliar o comportamento mecânico das técnicas de estabilização atlantoaxial mais usualmente empregadas, assim como de dois novos métodos de estabilização, a fim de obter, por meio da utilização de corpos de provas prototipados e guias de perfuração tridimensionais personalizados, resultados padronizados e estatisticamente analisados.

Revisão de literatura

1. Anatomia da primeira e segunda vértebras cervicais

A primeira vértebra cervical, o atlas, é a vértebra mais incomum, uma vez que não possui corpo próprio, consistindo em duas massas laterais unidas por um arco dorsal e um estreito arco ventral. Cada massa lateral projeta uma

saliência larga e achatada, o processo transverso, que devido a sua forma, é denominado de asa do atlas (Sisson, 2008; Dyce et al., 2010; Stalin et al., 2015; König e Liebich, 2016). O tubérculo dorsal situa-se na extremidade cranial do arco dorsal e o tubérculo ventral na extremidade caudal do arco ventral (König e Liebich, 2016). Além disso, o atlas caracteriza-se anatomicamente pelo forame vertebral lateral, que se abre na região craniodorsal do arco vertebral; pela incisura alar, a qual substitui o forame alar de outras espécies e encontra-se na borda cranial da asa; e pelo forame transverso, que perfura a asa na sua margem caudal (Sisson, 2008; Dyce et al., 2010) (Figuras 1A e 1B).

Ademais, a face cranial do arco ventral do atlas é escavada para se articular com os côndilos do occipital e a face caudal possui áreas articulares pouco profundas que se articulam com os processos articulares craniais da segunda vértebra cervical. A fôvea do dente é uma estrutura presente na superfície dorsal do arco ventral para acomodação do dente do áxis (Dyce et al., 2010; König e Liebich, 2016) (Figuras 1C e 1D).

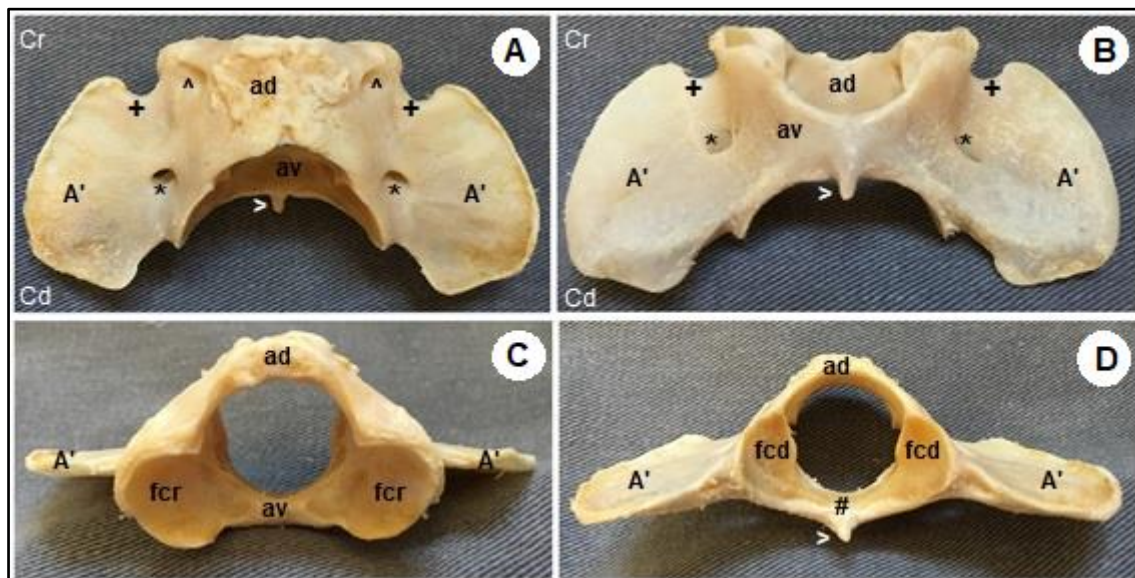


Figura 1. Imagens fotográficas da primeira vértebra cervical (atlas) de cão. **A)** Vista dorsal; **B)** Vista ventral; **C)** Vista craniocaudal; **D)** Vista caudocranial. (A') asa do atlas; (ad) arco dorsal; (av) arco ventral; (fcr) face articular cranial (articulação com os côndilos do occipital); (fcd) face articular caudal (articulação com os processos articulares craniais do áxis); (+) incisura alar; (^) forame vertebral lateral; (*) forame transverso; (>) tubérculo ventral; (#) fôvea do dente; (Cr) cranial; (Cd) caudal. Fonte: Arquivo Pessoal.

A segunda vértebra cervical, o áxis, apresenta corpo cilíndrico com crista ventral saliente. Na extremidade cranial, além dos processos articulares craniais, localiza-se o dente, ou também denominado de processo odontoide, sendo este arredondado, relativamente longo e ligeiramente inclinado dorsalmente (Sisson, 2008; Dyce et al., 2010; König e Liebich, 2016). O dente apresenta irregularidades na sua face dorsal que permitem a fixação dos ligamentos responsáveis por mantê-lo adequadamente posicionado (Dyce et al., 2010). O arco vertebral projeta uma superfície plana que se estende nos sentidos cranial e caudal, o processo espinhoso, o qual, caudalmente, exhibe os processos articulares caudais (Dyce et al., 2010; König e Liebich, 2016). Além disso, o par de processos transversos é direcionado caudolateralmente e atravessado pelo forame transverso (Sisson, 2008) (Figura 2).

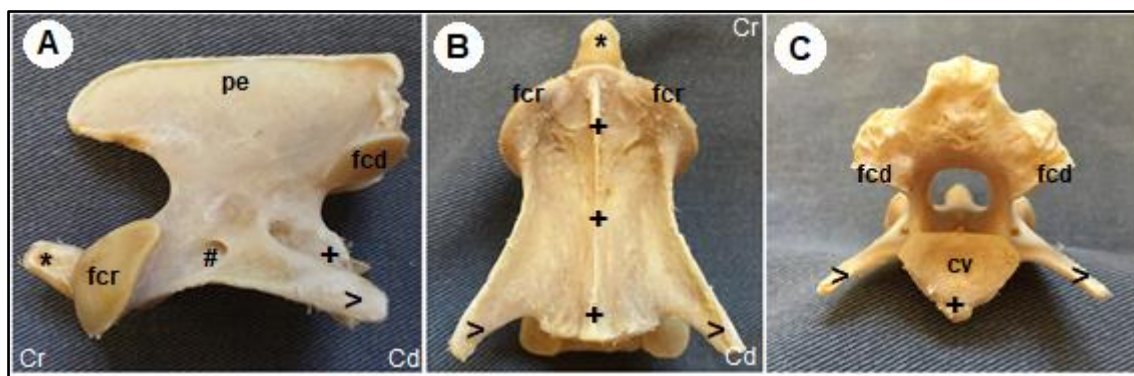


Figura 2. Imagens fotográficas da segunda vértebra cervical (áxis) de cão. **A)** Vista lateral. Nota-se a discreta inclinação dorsal do processo odontoide (*); **B)** Vista ventral; **C)** Vista caudocranial. (cv) corpo vertebral; (fcr) faceta articular cranial (articulação com a face articular caudal de C1); (fcd) faceta articular caudal (articulação com os processos articulares craniais de C3); (pe) processo espinhoso; (*) dente (processo odontoide); (#) forame transverso; (+) crista ventral; (>) processo trasnverso; (Cr) cranial; (Cd) caudal. Fonte: Arquivo Pessoal.

A articulação atlantoaxial é do tipo trocoide, a qual, além de ser formada pelo dente do áxis e sua cavidade correspondente no atlas, compreende também a interface entre as fôveas articulares caudais do atlas e as facetas articulares craniais do áxis (Figura 3). Assim, todos esses componentes são recobertos por uma cápsula articular em comum, compondo única cavidade sinovial e permitindo a movimentação rotacional da cabeça em relação à coluna vertebral (Shires, 2005; König e Liebich, 2016). As duas vértebras são mantidas em

aposição pela presença de estruturas ligamentosas: (1) o ligamento apical, que conecta o dente à borda ventral do forame magno; (2) um par de ligamento alar, que surgem em cada lado do dente, divergem e inserem-se na superfície medial dos côndilos; (3) o ligamento transverso, que estende-se sobre a superfície dorsal do dente e se insere em cada lado da massa lateral do atlas; e (4) o ligamento atlantoaxial dorsal, que liga a extremidade cranial do processo espinhoso do áxis ao tubérculo no arco dorsal do atlas (Sisson, 2008; Dyce et al., 2010; Stalin et al., 2015). Reber et al. (2013) realizaram avaliação biomecânica em cadáveres caninos e concluíram que, sob carga de cisalhamento, os ligamentos alares são as estruturas ligamentosas mais importantes na estabilização da articulação atlantoaxial.



Figura 3. Imagens fotográficas da primeira e segunda vértebras cervicais posicionadas de forma a representar a articulação atlantoaxial. Ausência das estruturas ligamentosas que compõem a articulação. **A)** Vista dorsolateral de C1 e C2 parcialmente articuladas. Nota-se o encaixe da face articular caudal de C1 com o processo articular cranial de C2 e a acomodação do processo odontoide na fóvea do dente; **B)** Vista craniocaudal de C1 e C2 articuladas. Nota-se a acomodação do processo odontoide na fóvea do dente (presente na face dorsal do arco ventral de C1); **C)** Vista ventral de C1 e C2 articuladas. Fonte: Arquivo Pessoal.

2. Subluxação atlantoaxial (SAA)

A SAA ocorre como consequência de instabilidade (Stalin et al., 2015). Nos cães jovens de raças “toy” ou miniatura, tais como Poodle, Pinscher, Chihuahua e Yorkshire Terrier, sua causa está usualmente relacionada à anormalidade congênita e/ou de desenvolvimento, a qual inclui aplasia, hipoplasia ou angulação dorsal excessiva do processo odontoide, bem como não-união do

dente ao eixo ou ausência congênita das estruturas ligamentosas (Thomas et al., 1991; Schulz et al., 1997; Beaver et al., 2000; Platt et al., 2004; Pujol et al., 2010; Bagley, 2012; Aikawa et al., 2013). A SAA também pode ser causada por trauma, resultando em fratura do processo odontoide ou ruptura dos ligamentos de suporte e, nesses casos, pode acometer cães de quaisquer raça e idade (Schulz et al., 1997; Beaver et al., 2000; Aikawa et al., 2013; Batista et al., 2014; Stalin et al., 2015).

De acordo com De Lahunta e Glass (2009), o processo odontoide é derivado de centro de ossificação que, além de ser responsável pela sua formação, origina também a superfície articular cranial do eixo. Desta forma, os autores acreditam que se houvesse falha no desenvolvimento deste centro de ossificação, toda a porção cranial do corpo do eixo, que se articula com o atlas, também estaria ausente, e não apenas o dente, como é observado nos casos de SAA. Assim sendo, De Lahunta e Glass (2009) especulam que a ausência do processo odontoide esteja associada à degeneração progressiva sofrida por esta estrutura bastante similar ao que ocorre na doença de Legg-Perthes, fazendo com que a superfície articular cranial do eixo permaneça na articulação atlantoaxial e apenas o dente encontre-se ausente.

A SAA é caracterizada pelo deslocamento dorsal da superfície cranial do corpo do eixo em direção ao canal vertebral, acarretando em compressão da medula espinhal e suas raízes nervosas (Platt et al., 2004; De Lahunta e Glass, 2009). Os sinais clínicos são compatíveis com mielopatia compressiva da região cervical cranial e variam desde dor cervical até déficits neurológicos associados à ataxia proprioceptiva, tetraparesia ou até mesmo tetraplegia (Shores e Tepper, 2007; De Lahunta e Glass, 2009; Pujol et al., 2010; Aikawa et al., 2013; Slanina, 2016). Nas raças “toy”, estes sinais geralmente manifestam-se entre seis e 18 meses de idade, porém, ocasionalmente, podem ocorrer mais tarde após episódios de pequenos traumatismos (Lorigados et al., 2004; De Lahunta e Glass, 2009).

A sintomatologia pode piorar após o exercício físico, especialmente se a ataxia e paresia causarem constantes quedas do animal ao chão, levando à flexão cervical excessiva (De Lahunta e Glass, 2009). Além disso, sinais de síndrome vestibular e hipoventilação também podem estar presentes devido ao edema medular, que se estende ao tronco encefálico caudal (Sturges, 2009).

O diagnóstico da SAA é baseado na resenha, anamnese, sinais clínicos, exame neurológico e confirmado por exames de imagem (Stalin et al., 2015). A radiografia da coluna cervical em projeção lateral pode revelar aumento da distância entre o arco dorsal do atlas e o processo espinhoso do eixo (Lorigados et al., 2004; De Lahunta e Glass, 2009; Stalin et al., 2015), o qual, de acordo com Seim (2008), espaçamento maior que 4 a 5 mm usualmente permite estabelecer o diagnóstico em cães de raças pequenas. Radiograficamente, ainda pode ser possível visibilizar a porção cranial do corpo do eixo projetada dorsalmente em direção ao canal vertebral, o que resulta na formação de ângulo agudo no aspecto ventral das primeiras vértebras cervicais (Lorigados et al., 2004; De Lahunta e Glass, 2009; Stalin et al., 2015).

Um estudo realizado por McLearn e Saunders (2000) determinou a angulação normal da amplitude de movimento da articulação atlantoaxial e concluiu que o ângulo entre atlas e eixo não deve ser inferior a 162 graus em cães normais.

A sobreposição radiográfica da asa do atlas pode dificultar a visibilização do dente na projeção lateral (De Lahunta e Glass, 2009). Desta forma, a presença e o tamanho do processo odontoide podem ser melhores evidenciados em projeção ventrodorsal ou dorsoventral (Lorigados et al., 2004; De Lahunta e Glass, 2009; Stalin et al., 2015), embora a oblíqua tem-se revelado mais útil quando o animal está intubado (Stalin et al., 2015).

A tomografia computadorizada (TC) é útil especialmente na identificação do processo odontoide ou na visibilização da ossificação incompleta de alguma estrutura pertencente à articulação atlantoaxial. Ademais, as imagens tomográficas podem auxiliar de forma efetiva no planejamento cirúrgico, uma vez que é possível localizar, esboçar e mensurar os corredores ósseos destinados à passagem dos implantes ortopédicos (Igarashi et al., 2003; Platt e Da Costa, 2012; Stalin et al., 2015; Slanina, 2016).

Por sua vez, a ressonância magnética é a ferramenta de imagem que permite determinar o grau de compressão e comprometimento medular, revelando informações adicionais como presença de edema, hemorragia ou siringohidromielia (Shores e Tepper, 2007; De Lahunta e Glass, 2009; Stalin et al., 2015). Consequentemente, faz-se possível obter informações prognósticas,

sendo isso especialmente importante nos casos crônicos (De Lahunta e Glass, 2009; Slanina, 2016).

O tratamento da SAA pode ser conservativo ou cirúrgico. O primeiro tem sido indicado para cães que apresentam ausência de anormalidades anatômicas do processo odontoide, ausência de histórico prévio de disfunção neurológica, início agudo de sinais clínicos leves e imaturidade esquelética (McCarthy et al., 1995; Havig et al., 2005; Pujol et al., 2010). Além do uso de anti-inflamatórios e do confinamento do paciente, a terapia conservativa consiste na utilização do colar cervical por período mínimo de seis semanas. Essa imobilização deve se estender da região cranial às orelhas até o tórax e ser confeccionada de forma a manter a cabeça e o pescoço em extensão (McCarthy et al., 1995; Havig et al., 2005; Shores e Tepper, 2007; Pujol et al., 2010; Bagley, 2012; Platt e Da Costa, 2012; Stalin et al., 2015). Portanto, ao final do tratamento clínico, a estabilização obtida é oriunda da formação de tecido fibroso em torno da articulação atlantoaxial, porém sem ocorrência da fusão articular permanente e, por isso, o risco de recidiva é maior (McCarthy et al., 1995; Lorigados et al., 2004; Havig et al., 2005; Stalin et al., 2015; Slanina, 2016).

Por sua vez, o tratamento cirúrgico é recomendado para a maioria dos pacientes com SAA, uma vez que a redução e estabilização articular permanentes são reconhecidos como os principais fatores que levam à eliminação bem-sucedida dos sinais clínicos (McCarthy et al., 1995; Havig et al., 2005; Forterre et al., 2012). Tal modalidade de tratamento é indicada para pacientes que apresentam disfunção neurológica moderada a grave (Jeffery, 1996; Pujol et al., 2010; Forterre et al., 2012) ou quando a terapia conservativa não obteve sucesso (Lorigados et al., 2004). Vários métodos de redução e estabilização cirúrgica têm sido reportados, incluindo técnicas de abordagem dorsal e ventral.

As técnicas de estabilização dorsal descritas incluem fixação do arco dorsal do atlas ao processo espinhoso do áxis por meio de fio de aço (McCarthy et al., 1995), fio de sutura (Chambers et al., 1977) ou ligamento nual (LeCouteur et al., 1980), além de descrições relacionadas à sutura da musculatura cervical dorsal com fio não-absorvível (Sánchez-Masian et al., 2014), utilização de banda de tensão de Kishigami (Pujol et al., 2010), colocação de “clamp” atlantoaxial dorsal (Riedinger et al., 2015) e inserção de pinos cruzados da asa do atlas ao

processo espinhoso do áxis em associação com cimento ósseo (Jeffery, 1996). Todavia, as complicações decorrentes dessas técnicas envolvem falha do implante ou do fio de sutura, fraturas do arco dorsal do atlas e/ou do processo espinhoso do áxis e danos iatrogênicos à medula espinhal durante a passagem de material cirúrgico sob o arco dorsal do atlas (Chambers et al., 1977; LeCouteur et al., 1980; McCarthy et al., 1995; Jeffery, 1996; Sánchez-Masian et al., 2014; Stalin et al., 2015; Slanina, 2016).

A estabilização articular obtida pela abordagem dorsal é atribuída à formação de tecido cicatricial fibroso em torno dos aspectos dorsais do atlas e do áxis (Schulz et al., 1997; Beaver et al., 2000). Em contrapartida, as técnicas de estabilizações ventrais, além de permitirem a inspeção e remoção do processo odontoide nos casos de fratura, não-união ou deslocamento dorsal excessivo (Shores e Tepper, 2007; Schulz, 2014), ainda possibilitam o desbridamento da cartilagem articular e colocação de enxertos ósseos que induzem a artrodese (Schulz et al., 1997; Beaver et al., 2000; Revés et al., 2013; Stalin et al., 2015; Slanina, 2016). Portanto, promovem estabilização articular permanente, o que reduz a probabilidade de recidiva precoce dos sinais clínicos e faz com que se tornem preferidas e mais frequentemente utilizadas do que os métodos dorsais (Beaver et al., 2000; Riedinger et al., 2015; Slanina, 2016; Takahashi et al., 2016).

São diversas técnicas ventrais descritas em literatura. Só na fixação transarticular, diferentes implantes já foram relatados e incluem parafusos de efeito compressivo (Denny et al., 1988), fios de Kirschner lisos (Sorjonen e Shires, 1981) e fios de Kirschner lisos em associação com cimento ósseo (Seim, 2008). Além do método transarticular, a literatura também reporta outras técnicas, com utilização de diversos outros implantes, em diferentes configurações e, inclusive, associando-se técnicas. Assim, as descrições incluem fios de Kirschner transarticulares em associação com parafusos corticais no arco ventral do atlas e cimento ósseo (Platt et al., 2004); fios de Kirschner transarticulares em associação com parafusos corticais inseridos ao longo do atlas e áxis e conectados por fio de aço e cimento ósseo (Sanders et al., 2004); fios de Kirschner transarticulares em associação com pinos distribuídos ao longo do atlas e áxis e cimento ósseo (Aikawa et al., 2013); e placas atlantoaxiais

(Thomas et al., 1991; Stead et al., 1993; Dickomeit et al., 2011; Riedinger et al., 2015; Takahashi et al., 2016).

2.1. Características biomecânicas da articulação atlantoaxial e de determinados métodos de estabilização da SAA

Do ponto de vista biomecânico, a flexão ventral é um importante vetor da articulação atlantoaxial de cães, sendo isso evidenciado pela constante tensão dos ligamentos durante o suporte de peso da cabeça no plano sagital (Reber et al., 2013). Nesse âmbito, Reber et al. (2013) reportaram que a ruptura das estruturas ligamentares da articulação atlantoaxial de cães aumentou a mobilidade ventral e desencadeou instabilidade atlantoaxial. Portanto, assume-se que a flexão ventral é uma das forças de maior importância na fisiopatogenia da instabilidade atlantoaxial, apesar da translação lateral, compressão, distração e rotação axial também serem passíveis de ocorrência (Riedinger et al., 2015; Stalin et al., 2015).

Apesar das inúmeras descrições de técnicas de estabilização da SAA, poucos são os estudos biomecânicos que avaliam os diferentes métodos utilizados nessa fixação articular (Riedinger et al., 2015; Takahashi et al., 2016). Riedinger et al. (2015) relataram que a fixação ventral obtida com parafusos transarticulares de efeito compressivo e com placa óssea proporcionaram maior estabilização da articulação atlantoaxial sob carga de cisalhamento do que a fixação dorsal com banda de tensão adaptada.

Takahashi et al. (2016) compararam as propriedades biomecânicas, sob forças de flexão e torção, de três técnicas ventrais e concluíram que a fixação com parafusos e cimento ósseo apresentou resistência à flexão significativamente maior do que com placa ou com parafusos transarticulares, que não houve diferença significativa na resistência à torção entre a fixação com placa e com parafusos e cimento ósseo, ao passo que a estabilização com placa foi significativamente mais resistente à torção do que com parafusos transarticulares. Por fim, Leblond et al. (2018) compararam biomecanicamente a estabilização ventral obtida com parafusos transarticulares e com duas diferentes construções de parafusos com cimento ósseo e concluíram que os

três métodos poderiam atingir taxas semelhantes de fusão articular quando submetidos a cargas fisiológicas, porém, as construções cimentadas mostraram-se menos propensas a falhas do que a técnica transarticular.

3. Opções de protótipos para avaliação biomecânica

A impressão tridimensional (3D), mais formalmente conhecida como fabricação de aditivos, é grupo de técnicas usadas para obter protótipos a partir da adição progressiva de determinada matéria-prima em curto período de tempo e minimizando, desta forma, os custos de produção. A capacidade dessas técnicas em fabricar estruturas 3D personalizadas, com geometrias complexas e excelente reprodutibilidade, revolucionou o campo biomédico, permitindo o desenvolvimento de novos implantes e modelos 3D na engenharia de tecidos (Serra et al., 2013). A partir de dados de imagem e modelos de “design” em computador, a técnica de prototipagem fabrica diretamente entidades físicas tridimensionais de alta precisão camada a camada (Yuan et al., 2017). A escolha do material certo é crucial para se obter estruturas 3D funcionais, uma vez que as propriedades intrínsecas dos materiais podem afetar características relacionadas a superfície, volume e geometria da estrutura final e isso, consequentemente, interfere nas propriedades mecânicas e no desempenho geral do protótipo (Serra et al., 2013).

Comparado com a grande variedade de materiais que podem ser fabricados por processos convencionais, apenas número limitado de plásticos pode ser fabricado eficazmente de forma aditiva e o ácido poli-lático (PLA – “polylactic acid”) é um dos mais utilizados (Ahmed e Susmel, 2017). O PLA é um polímero termoplástico biodegradável, biocompatível e absorvível, muito empregado na reconstrução óssea e o seu processamento com a ferramenta de impressão 3D permite a obtenção de estruturas altamente precisas e com melhor resolução do que as obtidas com outros métodos e materiais atualmente utilizados (Serra et al., 2013; Senatov et al., 2016; Ahmed e Susmel, 2017).

De acordo com Song et al. (2017), alguns estudos relataram a resistência à tração de diferentes plásticos impressos em 3D e ressaltaram que o PLA apresentou melhor resposta mecânica do que os demais polímeros termoplásticos investigados.

4. Guias de perfuração tridimensionais

No âmbito da neurocirurgia, a implantação de pinos ou parafusos nas vértebras requer bastante cautela devido à presença de importantes estruturas neurovasculares adjacentes ao estoque ósseo disponível. Ao longo dos anos, diversos métodos para aperfeiçoar a precisão na inserção de implantes na coluna vertebral foram desenvolvidos e incluem técnicas à mão-livre, técnicas guiadas por fluoroscopia e técnicas de cirurgia guiadas por imagem (Watine et al., 2006).

A técnica à mão-livre é baseada nos marcos anatômicos e nas médias de angulações morfométricas, sendo esses dados utilizados como guia para inserção dos implantes. No entanto, tal padronização é de uso limitado na prática neurocirúrgica veterinária, uma vez que há muitas variações anatômicas inter e intra-raciais, efeitos rotacionais do posicionamento cirúrgico do paciente em relação ao alinhamento vertebral e presença de literaturas com dados conflitantes entre si (Watine et al., 2006; Corlazzoli, 2008; Hamilton-Bennett et al., 2018). Nessa conjuntura, um estudo envolvendo estabilizações cervicais em cadáveres caninos revelou que 100% dos pinos bicorticais implantados nos corpos vertebrais à mão-livre violaram o canal vertebral (Hettlich et al., 2013). Portanto, a colocação de implantes vertebrais à mão-livre não deve ser bem estimada em cães.

Por sua vez, as técnicas guiadas por fluoroscopia expõem a equipe cirúrgica e o paciente a altos níveis de radiação e exigem estrutura física para comportar os equipamentos, o que envolve custo e limita a mobilidade do cirurgião (Bundoc et al., 2017). Já a navegação cirúrgica assistida por computador (NCAC) parece ter fornecido, até então, a máxima precisão no direcionamento dos implantes, pois é realizada a partir da digitalização da anatomia do paciente e integralização dos instrumentais cirúrgicos nessas imagens, combinando-as em um sistema computadorizado e permitindo que o cirurgião navegue em ambiente virtual. Entretanto, o alto custo também limita sua utilização a poucos centros hospitalares (Lu et al., 2009; Bundoc et al., 2017; Hamilton-Bennett et al., 2018).

Diante das limitações dessas técnicas, a nova tecnologia do guia de perfuração tridimensional paciente-específico (GP3D) vem ganhando cada vez

mais espaço nas neurocirurgias e revelando melhores resultados quanto à precisão e segurança, sobressaindo-se em diversos aspectos. Isso é comprovado a partir dos seguintes dados da medicina humana, nos quais as incidências de violação do canal vertebral ao implantar parafusos pediculares com as técnicas à mão-livre, por fluoroscopia, NCAC e GP3D foram, respectivamente, 44,4 a 63,8%; 13 a 55,1%; 2,9 a 12,5% e 2,4 a 6% (Hamilton-Bennett et al., 2018).

O GP3D consiste em um “template” personalizado que é posicionado sobre a superfície vertebral e destinado à perfuração da vértebra, de forma que a trajetória de perfuração é previamente planejada a partir das imagens de TC do paciente e, posteriormente, confeccionada de maneira tridimensional, dando origem ao GP3D (Lu et al., 2009; Kaneyama et al., 2015). Dentre suas vantagens, essa tecnologia permite o planejamento pré-operatório da localização, orientação, profundidade de perfuração e tamanho dos implantes nas vértebras; confecciona “templates” rígidos, o que proporciona maior estabilidade durante a perfuração; adapta-se às particularidades anatômicas do paciente; independe do alinhamento vertebral; já é confeccionado na angulação ideal de perfuração, exigindo apenas contato íntimo com a superfície vertebral; reduz o tempo cirúrgico; possui baixo custo de fabricação e rápida curva de aprendizado, não exigindo muita expertise do cirurgião; elimina o uso de assistência radiológica transcirúrgica e, conseqüentemente, a exposição à radiação; e elimina também a necessidade de equipamentos complexos e de altos custos (Lu et al., 2009; Kaneyama et al., 2015; Bundoc et al., 2017; Hamilton-Bennett et al., 2018).

Ainda nessa conjuntura, mas em relação às técnicas cirúrgicas de estabilização ventral da SAA em cães, suas taxas de complicações apresentam-se em torno de 53% e incluem dano iatrogênico à medula espinhal, migração dos implantes e fratura vertebral, estando todas elas intimamente relacionadas com a colocação imperfeita dos implantes e abrangência inadequada de estoque ósseo necessário para promover fixação estável e segura (Thomas et al., 1991; McCarthy et al., 1995; Jeserevics et al., 2008).

Além disso, como a causa da SAA na maioria dos cães de raça “toy” está relacionada a anormalidades congênitas, não é incomum a presença de alterações na anatomia vertebral dessa região (Sanders et al., 2004). Assim

como, em função do porte dessas raças acometidas, os estreitos corredores ósseos disponíveis para passagem dos implantes devem sempre ser bem considerados (Beaver et al., 2000; Revés et al., 2013; Leblond et al., 2016). Diante dessas adversidades, é de se concluir que a colocação de implantes à mão-livre nas estabilizações cirúrgicas da SAA não deve ser bem quista.

Portanto, a utilização dos GP3D no tratamento cirúrgico da SAA objetiva a precisa perfuração vertebral em locais pré-definidos, garantindo fixação adequada e segura de todos os implantes, independentemente da técnica cirúrgica executada. A partir do planejamento pré-cirúrgico e confecção dos “templates”, é possível adaptar-se às particularidades do paciente e à técnica escolhida, garantindo bons resultados e diminuindo as taxas de complicações.

Na medicina veterinária, os estudos experimentais e clínicos envolvendo a utilização dos GP3D são recentes e ainda escassos, porém com tendência crescente (Oxley e Behr, 2016; Hamilton-Bennett et al., 2018; Fujioka et al., 2019; Kamishina et al., 2019).

Objetivos

1. Objetivo geral

Avaliar, por meio de testes biomecânicos sob força de flexão ventral, quatro técnicas cirúrgicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cão.

2. Objetivos específicos

- Realizar a avaliação biomecânica de cada corpo de prova em duas fases. A primeira fase consistirá na avaliação de cada constructo quanto a sua capacidade de suporte de carga correspondente ao peso da cabeça de um cão, na qual será avaliada a rigidez (N/mm) e a deflexão (mm) de cada método de estabilização. A segunda fase, por sua vez, consistirá na avaliação da força máxima (N) suportada por cada constructo imediatamente antes da falha.
- Caracterizar a falha de cada modelo experimental;
- Comparar estatisticamente os resultados biomecânicos dos quatro grupos testados.

Referências

Ahmed AA, Susmel L (2017) Additively Manufactured PLA under static loading: strength/cracking behaviour vs. deposition angle. **Procedia Structural Integrity** 3:498-507.

Aikawa T, Shibata M, Fujita H (2013) Modified ventral stabilization using positively threaded profile pins and polymethylmethacrylate for atlantoaxial instability in 49 dogs. **Veterinary Surgery** 42:683-692.

Bagley RS (2012) Atlantoaxial instability. Estados Unidos: Iowa State University, 12p.

Batista DS, Albuquerque VB, Assis MMQ, Araújo MA, Oliveira GK (2014) Subluxação atlantoaxial traumática em um cão: relato de caso. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias** 9:45-48.

Beaver DP, Ellison GW, Lewis DD, Goring RL, Kubilis PS, Barchard C (2000) Risk factors affecting the outcome of surgery for atlantoaxial subluxation in dogs: 46 cases (1978-1998). **Journal of the American Veterinary Medical Association** 216:1104-1109.

Bundoc RC, Delgado GG, Grozman SAM (2017) A Novel Patient-Specific Drill Guide Template for Pedicle Screw Insertion into the Subaxial Cervical Spine Utilizing Stereolithographic Modelling: An In Vitro Study. **Asian Spine Journal** 11:4–14.

Chambers JN, Betts CW, Oliver JE (1977) The use of non-metallic suture material for stabilization of atlantoaxial subluxation. **Journal of the American Animal Hospital Association** 13:602–604.

Corlazzoli D (2008) Bicortical implant insertion in caudal cervical spondylomyelopathy: a computed tomography simulation in affected Doberman Pinschers. **Veterinary Surgery** 37:178-185.

De Lahunta A, Glass E (2009) Vertebral malformation and malarticulation. In.: _____ **Veterinary neuroanatomy and clinical neurology**. St. Louis: Saunders Elsevier, p. 268-269.

Denny HR, Gibbs C, Waterman A (1988) Atlantoaxial subluxation in the dog: a review of thirty cases and evaluation of treatment by lag screw fixation. **Journal of Small Animal Practice** 29:37–47.

Dickomeit M, Alves L, Pekarkova M, Gorgas D, Forterre F (2011) Use of a 1.5 mm butterfly locking plate for stabilization of atlantoaxial pathology in three toy breed dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology** 24:246-251.

Dyce KM, Sack WO, Wensing CJG (2010) O aparelho locomotor. In.: _____ **Tratado de anatomia veterinária**. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 35-42.

Forterre F, Revés NV, Stahl C, Gendron K, Spreng D (2012) An indirect reduction technique for ventral stabilization of atlantoaxial instability in miniature breed dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology** 25:332-336.

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

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** 47:236-242.

Havig ME, Cornell KK, Hawthorne JC, McDonnell JJ, Selcer BA (2005) Evaluation of nonsurgical treatment of atlantoaxial subluxation in dogs: 19 cases (1992-2001). **Journal of the American Veterinary Medical Association** 227:257-262.

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

Igarashi T, Kikuchi S, Sato K, Kayama S, Otani K (2003) Anatomic study of the axis for surgical planning of transarticular screw fixation. **Clinical Orthopaedics and Related Research** 408:162-166.

Jeffery ND (1996) Dorsal cross pinning of the atlantoaxial joint: new surgical technique for atlantoaxial subluxation. **Journal of Small Animal Practice** 37:26-29.

Jeserevics J, Srenk P, Beranek J, Jaggy A, Touru S, Cizinauskas S (2008) Stabilisation of atlantoaxial subluxation in the dog through ventral arthrodesis. **Schweiz Arch Tierheilkd** 150:69-76.

Kamishina H, Sugawara T, et al. (2019) Clinical application of 3D printing technology to the surgical treatment of atlantoaxial subluxation in small breed dogs. **PLoS One** 14:e0216445.

Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M (2015) Safe and accurate midcervical pedicle screw insertion procedure with the patient-specific screw guide template system. **Spine (Phila Pa 1976)** 40:341-348.

König HE, Liebich HC (2016) Esqueleto axial. In.: _____ **Anatomia dos animais domésticos: texto e atlas colorido**. Porto Alegre: Artmed, p. 53-116.

Leblond G, Gaitero L, Moens NM, Linden A, James FMK, Monteith G, Runciman J (2016) Canine atlantoaxial optimal safe implantation corridors – description and validation of a novel 3D presurgical planning method using OsiriX. **BMC Veterinary Research** 12:188.

Leblond G, Moens NMM, Gaitero L, Zur Linden A, James FMK, Monteith G, Runciman RJ (2018) Computed Tomography and Biomechanical Comparison between Trans-Articular Screw Fixation and 2 Polymethylmethacrylate Cemented Constructs for Ventral Atlantoaxial Stabilization. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology** 31:344-355.

LeCouteur RA, Mckeown D, Johnson J, Eger CE (1980) Stabilization of atlantoaxial subluxation in the dog, using the nuchal ligament. **Journal of the American Veterinary Medical Association** 177:1011-1017.

Lorigados CAB, Stermann FA, Pinto AC (2004) Clinic-radiographic study of congenital atlantoaxial subluxation in dogs. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science** 41:368-374.

Lu S, Xu YQ, Lu WW, Ni GX, Li YB, Shi JH, Li DP, Chen GP, Chen YB, Zhang YZ (2009) A novel patient-specific navigational template for cervical pedicle screw placement. **Spine (Phila Pa 1976)** 34:959-966.

McCarthy RJ, Lewis DD, Hosgood G (1995) Atlantoaxial subluxation in dogs. **Compendium Continuing Education Practising Veterinarian** 17:215–226.

McLear RC, Saunders HM (2000) Atlantoaxial mobility in the dog. **Veterinary Radiology & Ultrasound** 41:558.

Oxley B, Behr S (2016) Stabilisation of a cranial cervical vertebral fracture using a 3D-printed patient-specific drill guide. **Journal of Small Animal Practice** 57:277.

Platt SR, Chambers JN, Cross A (2004) A modified ventral fixation for surgical management of atlantoaxial subluxation in 19 dogs. **Veterinary Surgery** 33:349-354.

Platt SR, Da Costa RC (2012) Cervical spine. In.: Tobias KM, Johnston SA **Veterinary Surgery Small Animal**. St. Louis: Elsevier Saunders, p. 410-448.

Pujol E, Bouvy B, Omaña M, Fortuny M, Riera L, Pujol P (2010) Use of the Kishigami atlantoaxial tension band in eight toy breed dogs with atlantoaxial subluxation. **Veterinary Surgery** 39:35–42.

Reber K, Bürki A, Reves NV, Stoffel M, Gendron K, Ferguson SJ, Forterre F (2013) Biomechanical evaluation of the stabilizing function of the atlantoaxial ligaments under shear loading: a canine cadaveric study. **Veterinary Surgery** 42:918-923.

Revés NV, Stahl C, Stoffel M, Bali M, Forterre F (2013) CT scan-based determination of optimal bone corridor for atlantoaxial ventral screw fixation in miniature breed dogs. **Veterinary Surgery** 42:819-824.

Riedinger B, Bürki A, Stahl C, Howard J, Forterre F (2015) Biomechanical evaluation of the stabilizing function of three atlantoaxial implants under shear loading: a canine cadaveric study. **Veterinary Surgery** 44:957-963.

Sánchez-Masian D, Luján-Feliu-Pascual A, Font C, Mascort J (2014) Dorsal stabilization of atlantoaxial subluxation using non-absorbable sutures in toy breed dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology** 27:62-67.

Sanders SG, Bagley RS, Silver GM, Moore M, Tucker RL (2004) Outcomes and complications associated with ventral screws, pins, and polymethyl methacrylate for atlantoaxial instability in 12 dogs. **Journal of the American Animal Hospital Association** 40:204-210.

Schulz K (2014) Surgical treatment of atlantoaxial instability. In.: Bojrab MJ, Waldron DR, Toombs JP **Current techniques in small animal surgery**. Jackson: Teton NewMedia, p. 737-739.

Schulz KS, Waldron DR, Fahie M (1997) Application of ventral pins and polymethylmethacrylate for the management of atlantoaxial instability: results in nine dogs. **Veterinary Surgery** 26:317-325.

Seim HB (2008) Cirurgia da coluna cervical. Instabilidade atlantoaxial. In.: Fossum TW (Eds) **Cirurgia de pequenos animais**. Rio de Janeiro: Elsevier, p. 1441-1447.

Senatov FS, Niaza KV, Zadorozhnyy MY, Maksimkin AV, Kaloshkin SD, Estrin YZ (2016) Mechanical properties and shape memory effect of 3D-printed PLA-based porous scaffolds. **Journal of the Mechanical Behavior of Biomedical Materials** 57:139-148.

Serra T, Planell JA, Navarro M (2013) High-resolution PLA-based composite scaffolds via 3-D printing technology. **Acta Biomaterialia** 9:5521-5530.

Shires PK (2005) Instabilidade atlantoaxial. In.: Bojrab MJ **Técnicas atuais em cirurgia de pequenos animais**. São Paulo: Roca, p. 558-563.

Shores A, Tepper LC (2007) A modified ventral approach to the atlantoaxial junction in the dog. **Veterinary Surgery** 36:765–770.

Sisson S (2008) Vértébras cervicais. In.: Getty R **Sisson & Grossman: anatomia dos animais domésticos**. Rio de Janeiro: Guanaba Koogan, p.1337-1348.

Slanina MC (2016) Atlantoaxial instability. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice** 46:265-275.

Song Y, Li Y, Song W, Yee K, Lee KY, Tagarielli VL (2017) Measurements of the mechanical response of unidirectional 3D-printed PLA. **Materials & Design** 123:154-164.

Sorjonen DC, Shires PK (1981) Atlantoaxial instability: a ventral surgical technique for decompression, fixation and fusion. **Veterinary Surgery** 1:22–29.

Stalin C, Gutierrez-Quintana R, Faller K, Guevar J, Yeamans C, Penderis J (2015) A review of canine atlantoaxial joint subluxation. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology** 28:1-8.

Stead AC, Anderson AA, Coughlan A (1993) Bone plating to stabilize atlantoaxial subluxation in four dogs. **Journal of Small Animal Practice** 34:462-465.

Sturges BK (2009) Diagnosis and treatment of atlantoaxial subluxation. In.: Bonagura JD, Twedt DC **Kirk's current veterinary therapy XIV**. St. Louis: Saunders Elsevier, p.1083-1087.

Takahashi F, Hakozaki T, Kanno N, Harada Y, Yamaguchi S, Hara Y (2016) Biomechanical evaluation of three ventral fixation methods for canine atlantoaxial instability: a cadaveric study. **The Journal of Veterinary Medical Science** 78:1897-1902.

Thomas WB, Sorjonen DC, Simpson ST (1991) Surgical management of atlantoaxial subluxation in 23 dogs. **Veterinary Surgery** 20:409-412.

Watine S, Cabassu JP, Catheland S, Brochier L, Ivanoff S (2006) Computed tomography study of implantation corridors in canine vertebrae. **Journal of Small Animal Practice** 47:651-657.

Yuan B, Zhou SY, Chen XS (2017) Rapid prototyping technology and its application in bone tissue engineering. **Journal of Zhejiang University Science B** 18:303-315.

CAPÍTULO 2 – Avaliação biomecânica de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães¹

Normas do periódico “Veterinary Record” (Anexo 1)

Resumo

Os métodos de estabilização da articulação atlantoaxial canina têm evoluído nos últimos anos, todavia, são escassos os estudos biomecânicos relacionados a essas técnicas. O objetivo desse estudo foi comparar, após avaliação biomecânica sob carga de flexão ventral, quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães. Vinte e oito corpos de prova, representando a articulação atlantoaxial canina, foram distribuídos igualmente em quatro grupos. Cada grupo representava uma técnica: parafusos poliaxiais, parafusos transarticulares com efeito compressivo, múltiplos parafusos e cimento ósseo (PMMA) e nova placa atlantoaxial. Após implantação, os modelos experimentais foram submetidos à avaliação biomecânica. Todas as quatro técnicas foram capazes de realizar o suporte de carga fisiológica sem falhar, todavia, o método do PMMA revelou-se significativamente mais rígido ($p \leq 0,05$) que as demais técnicas. A construção cimentada também foi a que melhor resistiu ao aumento agudo de carga, suportando força máxima significativamente maior ($p \leq 0,05$) que os outros métodos. Não houve diferença estatística na resistência flexural entre os grupos dos parafusos transarticulares e da placa. O método dos parafusos poliaxiais foi significativamente menos resistente ($p \leq 0,05$) que os demais grupos. Portanto, a técnica do PMMA revelou importantes vantagens biomecânicas, apresentando-se menos propensa à falha que os demais métodos avaliados.

Palavras-chave: atlas, áxis, guia de perfuração tridimensional, instabilidade atlantoaxial, processo odontoide

¹ Este capítulo corresponde ao artigo científico submetido ao periódico “Veterinary Record” e encontra-se em avaliação para publicação.

INTRODUÇÃO

A subluxação atlantoaxial (SAA) ocorre como consequência de instabilidade, caracterizando-se pelo deslocamento dorsal da porção cranial do corpo do eixo em direção ao canal vertebral e levando a variados graus de compressão da medula espinhal e suas raízes nervosas.[1-4] Na maioria das vezes, sua causa está relacionada a anormalidades congênitas e/ou de desenvolvimento em cães jovens de raças “toy” ou miniatura.[4-9] Todavia, traumas podem ocasionar fratura do processo odontoide e/ou ruptura dos ligamentos e, nesses casos, acometer cães de qualquer raça e idade.[3,8,10-12]

Do ponto de vista biomecânico, a carga de flexão ventral é um importante vetor da articulação atlantoaxial de cães, sendo isso evidenciado pela tensão contínua dos ligamentos locais que suportam o peso da cabeça no plano sagital.[3] Além disso, foi relatado que a ruptura das estruturas ligamentares da articulação atlantoaxial levou ao aumento do movimento ventral, ocasionando a SAA e compressão da medula espinhal.[3]

O tratamento cirúrgico é recomendado para a maioria dos cães com SAA e, nesse âmbito, vários métodos de estabilização foram reportados e incluem técnicas de acesso dorsal e ventral.[12-17] As abordagens ventrais têm sido amplamente utilizadas, uma vez que, além de permitirem a inspeção e remoção do processo odontoide nos casos de fratura, não-união ou deslocamento dorsal excessivo,[5,18] esse acesso cirúrgico possibilita o desbridamento da cartilagem articular e a colocação de enxertos ósseos que induzem artrodese.[8,10,19-21] Os procedimentos ventrais descritos incluem implantes transarticulares, pinos ou parafusos distribuídos ao longo dos corpos vertebrais de C1 e C2 com ou sem polimetilmetacrilato (PMMA), placa ou associação de técnicas.[1,6,11,22-27]

Embora existam muitas descrições de técnicas de estabilização da SAA, poucos são os estudos biomecânicos realizados.[4,9,29] Portanto, o objetivo desse estudo foi comparar, por meio da avaliação biomecânica sob carga de flexão ventral, quatro técnicas cirúrgicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães: parafusos transarticulares com efeito compressivo, parafusos poliaxiais, múltiplos parafusos e cimento ósseo (PMMA) e nova placa atlantoaxial.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente estudo foi realizado com anuência da Comissão de Ética no Uso de Animais da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal (CEUA – FCAV/UNESP - Jaboticabal), sob o número 007869/18.

Corpos de prova

Um cão hígido, dois anos de idade, sem raça definida e com peso corporal de 29kg foi submetido ao exame de tomografia computadorizada (TC) e suas duas primeiras vértebras cervicais, atlas e áxis, foram utilizadas como modelos para confecção dos corpos de prova do presente estudo. Após obtenção das imagens tomográficas, os modelos vertebrais foram encaminhados para programas computacionais onde foram virtualmente preparados e, nessa etapa, removeu-se o processo odontoide do áxis, gerando um corpo de prova com subluxação atlantoaxial por agenesia do dente.

Em seguida, ainda virtualmente, criou-se dois blocos de fixação, cranial à C1 e caudal à C2, destinados à apreensão do corpo de prova na máquina de ensaio biomecânico. Além disso, projetou-se também ligações dorsais removíveis entre o atlas e o áxis, as quais tinham o objetivo de manter o alinhamento e estabilização temporária da subluxação durante a inserção dos implantes. Dessa forma, a técnica de redução foi padronizada para todos os grupos experimentais, evitando erros de implantação por perda do alinhamento vertebral. Ao término da passagem dos implantes, essas ligações eram removidas e as vértebras mantidas em aposição apenas pelo método de fixação eleito para cada grupo.

Após o processamento computacional das imagens, concluiu-se a criação do modelo tridimensional (3D) do corpo de prova. Essas informações foram enviadas à impressora 3D, que, por sua vez, confeccionou os corpos de provas a partir da adição em camadas de ácido poli-lático (PLA) (Figura 1). No total, foram confeccionados 28 corpos de prova que foram divididos igualmente nos quatro grupos experimentais propostos, resultando em sete corpos de prova para cada técnica cirúrgica testada.

Guias de perfuração tridimensionais atlantoaxiais

Objetivando a precisão e padronização da perfuração vertebral para subsequente colocação dos implantes nos corredores ósseos seguros, confeccionou-se três guias de perfuração tridimensionais (GP3D) atlantoaxiais, os quais foram utilizados, cada qual, durante a execução de uma das seguintes técnicas de estabilização: parafusos transarticulares, parafusos poliaxiais e múltiplos parafusos e PPMMA.

Para criação de cada guia, inicialmente utilizou-se os modelos vertebrais virtuais obtidos a partir das imagens de TC para planejar precisamente a trajetória de cada perfuração, visando abranger o maior estoque ósseo disponível e a angulação ideal para não comprometer as estruturas neurovasculares. Dessa forma, para cada técnica de estabilização, um guia de perfuração virtual foi criado, atendendo às exigências de posicionamento e distribuição dos implantes de cada uma. A superfície de contato desse guia foi construída em conformidade com a anatomia da superfície ventral da vértebra a ser perfurada, de tal forma que o GP3D se encaixasse de forma precisa, segura e em única posição no corpo vertebral, garantindo a trajetória ideal. Após criação dos modelos dos guias, os dados foram encaminhados para impressão pelo método DLP/SLA (“Direct Light Processing/Stereolithography”) e a resina de 405 nanômetros foi o material utilizado nessa impressão.

O GP3D transarticular (GP3DTA) foi destinado à execução da técnica de estabilização com parafusos transarticulares. Este guia possuía sua superfície de contato compatível com o aspecto cranial da porção ventral do corpo vertebral de C2 e constava com dois orifícios de perfuração com diâmetro interno de 2,7 mm, cada um direcionado para uma superfície articular atlantoaxial (Figura 2A).

O GP3D poliaxial (GP3DPAX) foi destinado à execução da técnica de estabilização com parafusos poliaxiais. Sua superfície de contato era compatível com o aspecto caudal do arco ventral de C1 e com o aspecto cranial da superfície ventral de C2. Portanto, havia dois orifícios de perfuração no atlas, cada um destes localizado no aspecto medial da asa, caudal ao forame transversos e em direção caudolateral, e dois orifícios de perfuração no eixo, cada um localizado na base do processo transversos e em direção lateral, sendo todos com diâmetro interno de 2 mm (Figura 2B).

Por fim, confeccionou-se o GP3D múltiplo (GP3DM), o qual foi destinado à execução da técnica de estabilização com múltiplos parafusos e PMMA. Este guia possuía três orifícios de perfuração ao longo do aspecto caudal da superfície ventral de C1, três orifícios de perfuração ao longo do aspecto cranial da superfície ventral de C2 e um orifício no aspecto caudal da crista ventral de C2. Duas das três trajetórias de perfuração, tanto no atlas quanto no aspecto cranial do eixo, coincidiam com as perfurações do GP3DPAX, somando uma perfuração central imediatamente caudal ao tubérculo ventral de C1 e outra também central localizada na suposta base do processo odontoide em C2. O diâmetro interno de todos os orifícios era de 2 mm (Figura 2C).

Além da confecção dos GP3DM, na técnica de estabilização com múltiplos parafusos e PMMA buscou-se também padronizar a quantidade e o formato do cimento ósseo que revestiria os parafusos. Para tal, a partir da impressão 3D, confeccionou-se molde para acomodar o PMMA, de forma que este seria posicionado sobre as superfícies ventrais de C1 e C2 e envolveria todos os parafusos utilizados na estabilização, servindo como leito para limitar o derramamento do cimento ósseo até sua polimerização e formar modelos padronizados de PMMA em todos os corpos de prova desse grupo (Figura 2D). Como o GP3DM ditava o local da perfuração vertebral e, conseqüentemente, a localização dos implantes, o molde pôde ser criado a partir do GP3DM, sem necessitar da implantação prévia dos parafusos para saber a abrangência do cimento nas superfícies vertebrais.

Implantes

Para execução da técnica de estabilização com parafusos transarticulares com efeito compressivo, utilizou-se dois parafusos corticais de titânio de 2,7 mm de diâmetro (Focus Ortopedia, Indaiatuba, São Paulo, Brasil) com efeito compressivo. A técnica com parafusos poliaxiais exigiu a utilização de quatro parafusos poliaxiais de titânio de 2,7 mm de diâmetro, duas hastas conectoras de titânio e quatro contra-parafusos (Focus Ortopedia, Indaiatuba, São Paulo, Brasil). Por sua vez, na técnica com múltiplos parafusos e PMMA utilizou-se sete parafusos corticais de titânio de 2,7 mm de diâmetro (Focus Ortopedia, Indaiatuba, São Paulo, Brasil) e quantidade padronizada de PMMA, sendo 12 g de pó e 6 mL de líquido.

Na técnica com nova placa atlantoaxial, os autores desse estudo projetaram uma placa bloqueada em titânio (Focus Ortopedia, Indaiatuba, São Paulo, Brasil) para estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cão. A escolha pela customização da placa foi objetivando que os parafusos assumissem localizações e angulações ideais, a fim de garantir fixação estável e segura. A placa apresentava “design” de borboleta, sendo levemente contornada de forma a acompanhar a morfologia das vértebras. Ademais, possuía quatro orifícios com sistema “UniLock” que receberam parafusos de titânio de 2,7 mm de diâmetro, sendo dois orifícios para implantação no atlas, cada qual localizado no aspecto medial da asa, caudal ao forame transversos e em direção caudolateral, e dois no eixo, cada um localizado na base do processo transversos e em direção craniolateral. Além disso, a placa constava também com pequeno orifício central, destinado à passagem de fio de Kirschner de 1,5 mm de diâmetro para auxiliar na estabilização temporária do implante nos corpos vertebrais.

Técnicas cirúrgicas de estabilização atlantoaxial ventral

Quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial foram testadas: parafusos transarticulares com efeito compressivo, parafusos poliaxiais, múltiplos parafusos e PMMA e nova placa atlantoaxial.

Ao término da execução de cada técnica, as ligações dorsais temporárias dos corpos de prova foram removidas e apenas o aparato referente a cada grupo foi o responsável por manter os modelos vertebrais em aposição.

No método dos parafusos transarticulares, utilizou-se o GP3DTA acoplado no corpo vertebral de C2 e, através dele, perfurou-se a superfície articular do eixo com broca de 2,7 mm de diâmetro. Em seguida, posicionando o guia de perfuração “lag” neste orifício de deslizamento, perfurou-se a superfície articular do atlas com broca de 2,0 mm de diâmetro e, por fim, implantou-se o parafuso cortical, o qual assumiu efeito compressivo. O mesmo procedimento foi realizado nas superfícies articulares contralaterais. Sete corpos de prova foram preparados utilizando esse mesmo método (Figura 3A).

No método dos parafusos poliaxiais, utilizou-se o GP3DPAX acoplado nas superfícies ventrais de C1 e C2 e, através dele, realizou-se as quatro perfurações de forma bicortical com broca de 2,0 mm de diâmetro. Em seguida, implantou-

se os parafusos poliaxiais em cada orifício, colocou-se uma haste conectando os parafusos ipsilaterais entre atlas e áxis e, por fim, rosqueou os contraparafusos, os quais estabilizavam o sistema a partir da compressão da haste ao parafuso, impedindo a mobilidade de ambos os componentes. Sete corpos de prova foram preparados utilizando esse mesmo método (Figura 3B).

No método dos múltiplos parafusos e PMMA, após o encaixe do GP3DM nas superfícies vertebrais, todas as perfurações foram realizadas com broca de 2,0 mm de diâmetro. No atlas e no aspecto cranial do áxis, as perfurações laterais foram bicorticais, ao passo que as centrais foram monocorticais. A perfuração da crista ventral de C2 foi igualmente monocortical. Assim, os parafusos corticais puderam ser implantados nos seus respectivos orifícios, de forma a ficarem cerca de 5 mm protruídos a partir da superfície vertebral para fixar o cimento ósseo. Em seguida, o molde de PMMA foi encaixado ao redor dos parafusos e preenchido com o cimento ósseo no estado de pré-massa. Por fim, este molde foi retirado poucos segundos antes da polimerização completa do PMMA. Sete corpos de prova foram preparados utilizando esse mesmo método (Figura 3C).

No método da placa atlantoaxial, o novo implante foi aposicionado nas superfícies vertebrais e os guias de perfuração foram rosqueados nos orifícios da placa, direcionando as perfurações bicorticais com broca de 2,0 mm de diâmetro e permitindo a subsequente implantação dos parafusos bloqueados. Sete corpos de prova foram preparados utilizando esse mesmo método (Figura 3D).

Além do posicionamento e angulação de todas as perfurações terem sido padronizados a partir da utilização dos guias, a profundidade também foi normatizada. Para isso, suas medidas foram obtidas a partir do planejamento prévio nas imagens de TC e, durante a execução das técnicas, todas as perfurações foram realizadas com “stopper” de broca, de forma que os implantes adentrassem apenas as medidas que haviam sido pré-determinadas para cada um deles.

Testes biomecânicos

Os testes biomecânicos foram divididos em duas fases. Na primeira delas, avaliou-se biomecanicamente cada método de fixação quanto à capacidade de

suporte de peso da cabeça de um animal, obtendo-se valores de rigidez (N/mm) e deflexão (mm). Para tal, pesou-se a cabeça, articulada ao atlas, de um cadáver de cão que apresentava dimensões de C1 e C2 semelhantes às do corpo de prova utilizado nesse experimento. O cão veio a óbito por razões naturais e não relacionadas a esse estudo e a pesagem foi realizada com o cadáver descongelado à temperatura ambiente. Ademais, realizou-se também, neste mesmo cadáver, a mensuração da distância da articulação atlantoaxial ao centro da cabeça, a qual seria utilizada como a distância padrão do vão livre na máquina de ensaio biomecânico. O peso da cabeça foi 2,5 kg (25N) e a distância foi de 90 mm.

Portanto, para execução dessa primeira fase, na máquina universal de ensaio (EMIC, modelo DL 100000, equipado com célula de carga de 200 kgf), o bloco de fixação do eixo foi preso ao dispositivo e o bloco de fixação do atlas sofreu aplicação de carga de 25N na direção ventral, representando a força de flexão ventral. A velocidade do teste de flexão foi de 5 mm/min e a distância do vão livre foi, portanto, de 90 mm. Após o ensaio de cada corpo de prova conforme as normas pré-estabelecidas, a máquina forneceu, juntamente com o programa Tesc versão 3.04, os valores das propriedades biomecânicas configuradas e um gráfico força x deformação. Todos os corpos de prova das quatro técnicas de estabilização foram testados.

A segunda fase dos testes foi metodologicamente semelhante à anterior, diferindo-se apenas no aumento gradativo da carga aplicada no bloco de fixação de C1. Portanto, o ensaio perpetuou até que houvesse falha (ponto de interrupção), sendo registrado a força máxima (N) suportada antes da deformação e o local dessa falha em cada modelo de teste.

Análise estatística

A análise estatística foi realizada com auxílio do software GraphPad Prism 5 (GraphPad Software Inc., San Diego, Califórnia, Estados Unidos). Inicialmente foi testada a normalidade dos resíduos (teste de Shapiro-Wilk) e homocedasticidade das variâncias (teste de Bartlett de variância) de todos os parâmetros estudados. As médias entre os grupos foram comparadas pelo teste de análise de variância (ANOVA) e análise entre pares com pós-teste de Tukey. A significância foi fixada, para todos os testes, em 5% ($p \leq 0,05$).

RESULTADOS

Na primeira fase dos testes biomecânicos, na qual a carga aplicada representava o peso da cabeça do cão, todos os quatro métodos testados suportaram o carregamento sem falhar. O método dos múltiplos parafusos e PMMA se mostrou significativamente mais rígido ($p \leq 0,05$) que as demais técnicas de estabilização. Não houve diferença significativa ($p > 0,05$) na rigidez entre as técnicas de parafusos transarticulares, placa atlantoaxial e parafusos poliaxiais (Tabela 1 e Figura 4). Ao avaliar a deflexão, ou seja, o deslocamento (em milímetros) que o corpo de prova (estabilizado com os implantes correspondentes a cada técnica) ainda foi capaz de sofrer ao ser submetido a carga de 25N, observou-se que o grupo dos múltiplos parafusos e PMMA sofreu deflexão significativamente menor ($p \leq 0,05$) que todas as demais técnicas. A deflexão sofrida pelo grupo dos parafusos transarticulares foi significativamente menor ($p \leq 0,05$) que a deflexão sofrida pelo grupo dos parafusos poliaxiais e sem diferença estatística ($p > 0,05$) da deflexão sofrida pela placa atlantoaxial (Tabela 2 e Figura 5).

Tabela 1. Média e desvio padrão da rigidez (N/mm) dos corpos de prova sob carga de flexão ventral de 25N na avaliação de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães.

Técnica de estabilização	Média ($\pm$ DP) da rigidez (N/mm) sob carga de 25N
Parafusos poliaxiais	14,50 $\pm$ 2,75 ^B
Placa bloqueada atlantoaxial	20,32 $\pm$ 5,56 ^B
Parafusos transarticulares com efeito compressivo	21,72 $\pm$ 7,36 ^B
Múltiplos parafusos e cimento ósseo	45,74 $\pm$ 8,29 ^A

DP: desvio padrão.

Letras diferentes demonstram diferenças entre as técnicas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Tabela 2. Média e desvio padrão da deflexão (mm) sofrida pelos corpos de prova sob carga flexão ventral de 25N na avaliação de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães.

Técnicas de estabilização	Média ($\pm$ DP) da deflexão (mm) sob carga de 25N
Parafusos poliaxiais	2,46 $\pm$ 0,43 ^{B,b}
Placa bloqueada atlantoaxial	1,87 $\pm$ 0,52 ^{B,a}
Parafusos transarticulares com efeito compressivo	1,50 $\pm$ 0,42 ^{B,a}
Múltiplos parafusos e cimento ósseo	0,83 $\pm$ 0,19 ^A

DP: desvio padrão.

Letras diferentes demonstram diferenças entre as técnicas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

Já na segunda fase dos testes biomecânicos, imediatamente antes da falha, o método dos múltiplos parafusos e PMMA suportou carga máxima significativamente maior ($p \leq 0,05$) que todos os demais grupos. A força máxima suportada pelo método dos parafusos transarticulares foi significativamente maior ($p \leq 0,05$) que dos parafusos poliaxiais, porém sem diferença estatística ($p > 0,05$) da força máxima suportada pelo grupo da nova placa atlantoaxial. E, a força máxima suportada pela nova placa atlantoaxial também foi significativamente maior ($p \leq 0,05$) do que a carga máxima suportada pelo grupo dos parafusos poliaxiais (Tabela 3 e Figura 6).

Tabela 3. Média e desvio padrão da força máxima (N) suportada pelos corpos de prova sob carga de flexão ventral na avaliação de quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães.

Técnicas de estabilização	Média ($\pm$ DP) da força máxima (N)
Parafusos poliaxiais	62,27 $\pm$ 9,26 ^{B,b}
Placa bloqueada atlantoaxial	118,87 $\pm$ 17,53 ^{B,a}
Parafusos transarticulares com efeito compressivo	156,4 $\pm$ 28,69 ^{B,a}
Múltiplos parafusos e cimento ósseo	264,18 $\pm$ 78,85 ^A

DP: desvio padrão.

Letras diferentes demonstram diferenças entre as técnicas ($p \leq 0,05$) pelo teste de Tukey.

No grupo dos parafusos transarticulares, as falhas caracterizaram-se principalmente por fratura da porção cranial do eixo, exatamente no local de implantação dos parafusos. No grupo dos múltiplos parafusos e PMMA, todas as falhas que ocorreram foram caracterizadas por fratura do cimento ósseo no espaço articular entre atlas e eixo. Nos métodos da placa atlantoaxial e dos parafusos poliaxiais, ao final dos testes biomecânicos, os corpos de prova caracterizaram-se por aumento da distância atlantoaxial dorsal, principalmente nesta última técnica. Portanto, no grupo dos parafusos poliaxiais, os corpos de prova exibiram distância final entre 8 e 16 mm e observou-se folga no sistema de travamento entre o parafuso e a haste, ao passo que no grupo da placa a distância atlantoaxial final variou de 2 a 8 mm. Não foi relatado quebra da placa ou de parafusos nas técnicas de estabilização.

DISCUSSÃO

Realizou-se avaliação biomecânica, sob força de flexão ventral, de quatro métodos de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães: parafusos transarticulares com efeito compressivo, parafusos poliaxiais, múltiplos parafusos corticais e PMMA e placa bloqueada atlantoaxial. Ao submeter essas construções à carga fisiológica, todos os métodos foram capazes de realizar o carregamento de peso sem apresentar falhas, porém o grupo dos múltiplos parafusos e PMMA foi significativamente mais rígido que todos os demais métodos avaliados. Ao aplicar carga gradativa até a ocorrência de falha do constructo, a técnica cimentada suportou carga máxima significativamente maior que os outros métodos, ao passo que o grupo dos parafusos poliaxiais suportou carga máxima significativamente menor comparativamente aos demais grupos.

No presente estudo, utilizou-se corpos de prova confeccionados em PLA por dois motivos. Inicialmente e em similaridade às avaliações biomecânicas atlantoaxiais desenvolvidas por Takahashi et al.[9] e Leblond et al.[29], este estudo também objetivava comparar a resistência à flexão unicamente dos métodos de fixação, sem a presença dos tecidos moles, que, possivelmente, poderiam contribuir com seus efeitos estabilizadores no suporte da articulação atlantoaxial, portanto, modelos unicamente vertebrais de atlas e eixo seriam capazes de atender a esse requisito. Segundo, devido à alta variabilidade dos espécimes cadavéricos, às possíveis interferências dos métodos de

conservação nas suas características biomecânicas e à similaridade da resistência mecânica entre o tecido ósseo e o PLA,[30,31] optou-se pelo uso padronizado de corpos de prova sintéticos para a execução deste estudo.

Durante a execução metodológica, almejou-se alcançar a máxima padronização possível dos corpos de prova em todos os grupos experimentais, e os GP3D atlantoaxiais foram fundamentais no cumprimento desse objetivo. Como os guias encaixaram-se de forma precisa, segura e em única posição nos modelos vertebrais, todos os corpos de prova de um mesmo grupo tinham implantes correspondentes assumindo a mesma localização, angulação e abrangência óssea. A profundidade de cada perfuração também foi exata, pois a utilização do “stopper” de broca pelos guias garantiu que todos os implantes tivessem medidas idênticas às planejadas. Além disso, a quantidade, volume e distribuição do cimento ósseo ao longo das superfícies vertebrais de C1 e C2 também foram padronizadas a partir da utilização do molde tridimensional em todos os modelos experimentais do grupo do PMMA.

Essa preocupação em obter a máxima padronização foi para evitar a ocorrência de resultados discrepantes entre as amostras de um mesmo grupo experimental por possíveis diferenças no posicionamento, angulação e abrangência de estoque ósseo de cada implante, como o que foi relatado no estudo desenvolvido por Takahashi et al.[9], em que houve relevantes diferenças na carga suportada por cada amostra do seu grupo de parafusos e cimento ósseo devido à falta de padronização no posicionamento e angulação dos implantes, assim como no volume de cimento ósseo presente em cada modelo experimental.

Na primeira fase dos testes biomecânicos, submeteu-se cada método de estabilização à carga fisiológica, correspondente ao peso da cabeça de um cão com massa corpórea proporcional às dimensões dos espécimes prototipados, objetivando obter os valores de rigidez de cada grupo e avaliar se todas as técnicas eram capazes de realizar o suporte adequado da cabeça sem falhar. Leblond et al.[29] obtiveram os valores de rigidez de três técnicas de estabilização atlantoaxial também sob condições fisiológicas e seus grupos experimentais foram compostos por parafusos transarticulares e duas diferentes construções cimentadas. Entretanto, diferentemente do presente estudo, no qual o parâmetro utilizado foi a carga, Leblond et al.[29] utilizaram o momento de

flexão ventral para determinar a condição fisiológica do estudo e, portanto, seus valores de rigidez se correlacionaram com o ângulo de flexão, levando a uma unidade de medida final expressa em Nm/°. Dessa forma, os valores absolutos de rigidez obtidos neste estudo (N/mm) não podem ser comparados diretamente com os de Leblond et al.[29]. Segundo a avaliação deles, não houve diferença significativa entre os seus três grupos sob condição fisiológica, já neste estudo, de acordo com os parâmetros e valores utilizados, a construção cimentada revelou-se significativamente mais rígida que os demais métodos, apesar de todas as quatro técnicas serem capazes de realizar o suporte da cabeça sem falhar.

Todavia, do ponto de vista conceitual, concorda-se com Leblond et al.[29] no fato de que a medida de rigidez, sob condições fisiológicas, é interpretada como a capacidade que o método de estabilização tem para promover a artrodese adequada. Isso porque, o principal objetivo de uma fixação atlantoaxial ventral é estabilizar adequadamente as vértebras para que haja fusão articular efetiva e no menor tempo possível, portanto, quanto mais rígida a construção, maior probabilidade em se alcançar a artrodese. A partir disso, pode-se dizer que os resultados da primeira fase deste estudo sugerem que a técnica de múltiplos parafusos e PMMA apresenta maior potencial de estabilização e, conseqüentemente, de proporcionar fusão atlantoaxial do que as demais técnicas avaliadas.

Ainda nesse contexto, para que a artrodese ocorra com sucesso, faz-se necessário que os implantes estabilizem efetivamente a articulação atlantoaxial, a ponto de permitir o menor deslocamento (deflexão) possível entre corpos vertebrais quando todo o sistema for submetido a uma carga. E, nesse âmbito, o grupo dos múltiplos parafusos e PMMA revelou-se, mais uma vez, superior, pois, ao ser submetido à carga fisiológica, permitiu deflexão significativamente menor do que todos os demais métodos avaliados. Em contrapartida, a estabilização obtida com parafusos poliaxiais revelou valores de deflexão significativamente maiores do que todos os demais métodos, permitindo, aproximadamente, três vezes mais deslocamento do que o que foi permitido com a técnica de parafusos e cimento. Por conseguinte, presume-se que a deflexão excessiva não seja desejável em uma estabilização atlantoaxial, uma vez que se cria ambiente mecanicamente instável na área articular, dificultando a fusão

articular devido ao excesso de movimentação local. Isso faz com que a artrodese não ocorra e que a transferência de carga seja constante e exclusivamente pelo implante, o que pode desencadear em falha da estabilização em curto prazo por fadiga do aparato e, conseqüentemente, perda de redução e recidiva dos sinais clínicos.

A segunda fase dos testes biomecânicos objetivou avaliar a resistência flexural de cada método de fixação quando submetidos a altas cargas, determinando a força máxima suportada pelo constructo até sua falha. Similarmente a outros estudos biomecânicos envolvendo estabilizações atlantoaxiais,[9,29] o presente estudo também revelou a superioridade da construção cimentada, a qual suportou carga máxima significativamente maior que todas as demais técnicas testadas. Acredita-se que a disposição dos implantes seja responsável pelas vantagens biomecânicas dessa técnica, pois, como o ponto de concentração de força da região atlantoaxial tende a se localizar na porção cranial do eixo,[33,34] a presença de parafusos e cimento ósseo ao longo de toda superfície do corpo vertebral de C2 distribui melhor as cargas transmitidas nessa região, tornando o constructo cimentado propenso ao maior suporte de cargas de flexão.[29] Por outro lado, como os constructos dos parafusos transarticulares, placa e parafusos poliaxiais apresentam seus implantes concentrados na porção cranial do eixo, acredita-se que eles são mais exigidos mecanicamente devido à concentração de força nesse local, levando as estabilizações a suportarem cargas significativamente menores.

Dentre essas estabilizações menos resistentes, os resultados revelaram que a força máxima suportada pelo grupo dos parafusos transarticulares não diferiu significativamente do grupo da placa, porém ambos suportaram força máxima significativamente maior que o grupo dos parafusos poliaxiais. Diante disso, faz-se necessário avaliar as propriedades biomecânicas de cada constructo para explicar esses resultados.

Em relação ao grupo dos parafusos transarticulares, como esses implantes foram posicionados com efeito compressivo, eles comprimiram as superfícies articulares do eixo e do atlas e, dessa forma, ocorreu o compartilhamento de carga entre o implante e o osso, diminuindo a carga suportada pelos parafusos e aumentando a estabilidade da fixação, conforme os princípios da fixação interna abordados por Brinker et al.[35].

Todavia, tal mecanismo de compartilhamento de carga não ocorreu nas configurações obtidas com a placa e com os parafusos poliaxiais, pois esses constructos apresentaram seus implantes firmemente presos no arco ventral do atlas e na porção cranial do eixo, porém sem promover compressão direta entre as superfícies articulares. Dessa forma, nessas construções, a transferência de carga ocorreu unicamente pelos implantes, os quais devem se revelar resistentes o suficiente para suportarem sozinhos toda a força até que haja a fusão articular. E, nesse âmbito, o grupo da placa revelou ser um método de estabilização satisfatoriamente resistente para esta região abordada, pois suportou carga máxima que não diferiu significativamente do grupo dos parafusos transarticulares e que foi praticamente o dobro da carga máxima suportada pelo grupo dos parafusos poliaxiais.

E, por fim, acredita-se que o grupo dos parafusos poliaxiais suportou carga máxima significativamente menor que todos os demais métodos avaliados devido à fragilidade do seu sistema de bloqueio. Estudos comprovaram que alguns mecanismos de travamento poliaxiais são mais vulneráveis à falha devido ao seu design.[36,37] E, no presente estudo, notou-se que foi exatamente este fator que ocasionou os resultados encontrados. O constructo não suportou altas cargas de flexão, pois houve folga no sistema de travamento entre o parafuso e a haste, permitindo a mobilidade do parafuso no interior do dispositivo e, conseqüentemente, caracterizando a falha da construção. Essa instabilidade adquirida levou ao distanciamento atlantoaxial excessivo, pois como o parafuso não estava mais travado no sistema, à medida que a carga era aplicada, o distanciamento não era contido por nenhuma estabilização efetiva. Ao final, as medidas atlantoaxiais alcançadas foram de, no mínimo, 8 mm, praticamente o dobro do proposto por Seim[26] como o valor diagnóstico da SAA.

O aspecto final do corpo de prova do grupo da placa também foi caracterizado pelo distanciamento atlantoaxial, entretanto, diferentemente do grupo dos parafusos poliaxiais, acredita-se que, nesse caso, a falha consistiu na deformação do corpo de prova, que permitiu maior mobilidade dos parafusos nos seus locais de implantação e, conseqüentemente, não proporcionou estabilização rígida o suficiente para impedir o deslocamento vertebral sob altas cargas. Entretanto, como o sistema ainda estava fixo e bloqueado, apesar de instável, o distanciamento final entre atlas e eixo foi, de certa forma, limitado pelo

aparato e, portanto, alcançou medidas significativamente menores que as do grupo dos parafusos poliaxiais.

Por sua vez, a falha do grupo dos parafusos transarticulares caracterizou-se por fratura da porção cranial do eixo, similarmente às falhas transarticulares relatadas por Takahashi et al.[9] e Leblond et al.[29]. Acredita-se que a presença dos implantes nessa região funcionou como ponto concentrador de força, levando à fratura óssea no local de inserção dos parafusos. E, por fim, no grupo dos múltiplos parafusos e PMMA, a falha caracterizou-se pela fratura do manto do cimento ósseo no espaço atlantoaxial, justamente por ser o local de maior fragilidade do sistema devido ao espaço virtual articular.

Algumas limitações devem ser destacadas na metodologia do presente estudo. Primeiro, os corpos de prova utilizados como modelos experimentais são significativamente maiores em comparação ao tamanho vertebral dos cães de raças “toy” usualmente acometidos pela SAA. No entanto, as técnicas realizadas, os locais de colocação dos implantes e a comparação entre os grupos não parecem ser fatores limitantes para a aplicabilidade desses resultados em cães de menor porte. Além disso, os estudos biomecânicos que envolvem as estabilizações atlantoaxiais utilizam cães da raça Beagle como modelos,[4,9,29] possibilitando comparações mais fidedignas entre os resultados. Segundo, a avaliação biomecânica foi realizada apenas sob força de flexão ventral, porém a articulação atlantoaxial de um paciente vivo é submetida a movimentos multidirecionais. Todavia, embora a escolha exclusiva dessa força acarrete em possíveis limitações dos resultados, vale ressaltar que ela é considerada um dos principais vetores, pois, segundo estudos desenvolvidos por Reber et al.[3] e Riedinger et al.[4], acredita-se que o peso da cabeça seja a fonte mais significativa de tensão na articulação atlantoaxial canina. Por fim, este estudo foi realizado em condições “in vitro”, de forma que a interferência dos fatores clínicos nos resultados não pode ser discutida.

Portanto, com base nos resultados experimentais, conclui-se que (1) a melhor distribuição dos implantes ao longo das superfícies vertebrais de C1 e C2 fornece vantagens biomecânicas, de tal forma que a técnica cimentada revelou superioridade tanto sob ação de cargas fisiológicas quanto sob aumento gradativo da carga até a falha, e (2) a técnica dos parafusos poliaxiais, assumindo a configuração proposta neste estudo, não revelou vantagens

biomecânicas como método de eleição para a estabilização atlantoaxial em cães.

AGRADECIMENTOS

À empresa Focus Ortopedia Veterinária (Indaiatuba, São Paulo, Brasil) pela parceria ao fornecer os implantes utilizados nesse estudo. Ao Professor Doutor Antônio Carlos Shimano, responsável pelo Laboratório de Bioengenharia do Departamento de Biomecânica, Medicina e Reabilitação do Aparelho Locomotor da Faculdade de Medicina de Ribeirão Preto/USP, pelo auxílio durante a execução e interpretação dos testes biomecânicos. À CAPES - Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil - Código de financiamento 001 e à FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (Processo nº 2018/03464-1) pelo apoio financeiro essencial para realização dessa pesquisa.

CONFLITO DE INTERESSES

Todos os autores desse estudo declaram que não houve conflito de interesses.

REFERÊNCIAS

- [1] Platt SR, Chambers JN, Cross A. A modified ventral fixation for surgical management of atlantoaxial subluxation in 19 dogs. *Vet Surg* 2004;33:349-54.
- [2] De Lahunta A, Glass E. Vertebral malformation and malarticulation. In: _____. *Veterinary Neuroanatomy and Clinical Neurology*. St. Louis, Missouri: Saunders Elsevier 2009:268-69.
- [3] Reber K, Bürki A, Reves NV, et al. Biomechanical evaluation of the stabilizing function of the atlantoaxial ligaments under shear loading: a canine cadaveric study. *Vet Surg* 2013;42:918-23.
- [4] Riedinger B, Bürki A, Stahl C, et al. Biomechanical evaluation of the stabilizing function of three atlantoaxial implants under shear loading: a canine cadaveric study. *Vet Surg* 2015;44:957-63.
- [5] Shores A, Tepper LC. A modified ventral approach to the atlantoaxial junction in the dog. *Vet Surg* 2007;36:765–70.
- [6] Aikawa T, Shibata M, Fujita H. Modified ventral stabilization using positively threaded profile pins and polymethylmethacrylate for atlantoaxial instability in 49 dogs. *Vet Surg* 2013;42:683-92.

- [7] Sánchez-Masian D, Luján-Feliu-Pascual A, Font C, et al. Dorsal stabilization of atlantoaxial subluxation using non-absorbable sutures in toy breed dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2014;27:62-7.
- [8] Stalin C, Gutierrez-Quintana R, Faller K, et al. A review of canine atlantoaxial joint subluxation. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2015;28:1-8.
- [9] Takahashi F, Hakozaiki T, Kanno N, et al. Biomechanical evaluation of three ventral fixation methods for canine atlantoaxial instability: a cadaveric study. *J Vet Med Sci* 2016;78:1897-1902.
- [10] Beaver DP, Ellison GW, Lewis DD, et al. Risk factors affecting the outcome of surgery for atlantoaxial subluxation in dogs: 46 cases (1978-1998). *J Am Vet Med Assoc* 2000;216:1104-09.
- [11] Sanders SG, Bagley RS, Silver GM, et al. Outcomes and complications associated with ventral screws, pins, and polymethyl methacrylate for atlantoaxial instability in 12 dogs. *J Am Anim Hosp Assoc* 2004;40:204-10.
- [12] Forterre F, Revés NV, Stahl C, et al. An indirect reduction technique for ventral stabilization of atlantoaxial instability in miniature breed dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2012;25:332-36.
- [13] McCarthy RJ, Lewis DD, Hosgood G. Atlantoaxial subluxation in dogs. *Compendium Continuing Education Practicing Veterinarian* 1995;17:215–26.
- [14] Jeffery ND. Dorsal cross pinning of the atlantoaxial joint: new surgical technique for atlantoaxial subluxation. *J Small Anim Pract* 1996;37:26-9.
- [15] Lorigados CAB, Sterman FA, Pinto AC. Clinic-radiographic study of congenital atlantoaxial subluxation in dogs. *Braz J Vet Res An Sci* 2004;41:368-74.
- [16] Havig ME, Cornell KK, Hawthorne JC, et al. Evaluation of nonsurgical treatment of atlantoaxial subluxation in dogs: 19 cases (1992-2001). *J Am Vet Med Assoc* 2005;227:257-62.
- [17] Pujol E, Bouvy B, Omaña M, et al. Use of the Kishigami atlantoaxial tension band in eight toy breed dogs with atlantoaxial subluxation. *Vet Surg* 2010;39:35–42.
- [18] Schulz K. Surgical treatment of atlantoaxial instability. In: Bojrab MJ, Waldron DR, Toombs JP. *Current Techniques in Small Animal Surgery*. Jackson, WY: Teton NewMedia 2014:737-9.
- [19] Schulz KS, Waldron DR, Fahie M. Application of ventral pins and polymethylmethacrylate for the management of atlantoaxial instability: results in nine dogs. *Vet Surg* 1997;26:317-25.

- [20] Revés NV, Stahl C, Stoffel M, et al. CT scan-based determination of optimal bone corridor for atlantoaxial ventral screw fixation in miniature breed dogs. *Vet Surg* 2013;42:819-24.
- [21] Slanina MC. Atlantoaxial instability. *Vet Clin North Am Small Anim Pract* 2016;46:265-75.
- [22] Sorjonen DC, Shires PK. Atlantoaxial instability: a ventral surgical technique for decompression, fixation and fusion. *Vet Surg* 1981;1:22–9.
- [23] Denny HR, Gibbs C, Waterman A. Atlantoaxial subluxation in the dog: a review of thirty cases and evaluation of treatment by lag screw fixation. *J Small Anim Pract* 1988;29:37–47.
- [24] Thomas WB, Sorjonen DC, Simpson ST. Surgical management of atlantoaxial subluxation in 23 dogs. *Vet Surg* 1991;20:409-12.
- [25] Stead AC, Anderson AA, Coughlan A. Bone plating to stabilize atlantoaxial subluxation in four dogs. *J Small Anim Pract* 1993;34:462-5.
- [26] Seim HB. Cirurgia da coluna cervical. Instabilidade atlantoaxial. In: Fossum TW, eds. Cirurgia de pequenos animais. Rio de Janeiro, RJ: Elsevier 2008:1441-7.
- [27] Dickomeit M, Alves L, Pekarkova M, et al. Use of a 1.5 mm butterfly locking plate for stabilization of atlantoaxial pathology in three toy breed dogs. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2011;24:246-51.
- [28] Jeserevics J, Srenk P, Beranek J, et al. Stabilisation of atlantoaxial subluxation in the dog through ventral arthrodesis. *Schweiz Arch Tierheilkd* 2008;150:69-76.
- [29] Leblond G, Moens NMM, Gaitero L, et al. Computed tomography and biomechanical comparison between trans-articular screw fixation and 2 polymethylmethacrylate cemented constructs for ventral atlantoaxial stabilization. *Vet Comp Orthop Traumatol* 2018;31:344-55.
- [30] Pruitt LA, Chakravartula AM. Mechanics of biomaterials - fundamental principles for implant design. 1st ed. Cambridge: Cambridge University Press, 2011.
- [31] Fattahi FS, Avinc O, Khoddami A. Poly(lactic acid) (PLA) nanofibers for bone tissue engineering. *Journal of Textiles and Polymers* 2019;7:47-64.
- [32] Kamishina H, Sugawara T, Nakata K, et al. Clinical application of 3D printing technology to the surgical treatment of atlantoaxial subluxation in small breed dogs. *PLoS One* 2019;14:e0216445.
- [33] Stone EA, Betts CW, Chambers JN. Cervical fractures in the dog; a literature and case review. *J Am Anim Hosp Assoc* 1979;14:463–71.

- [34] Hawthorne JC, Blevins WE, Wallace LJ, et al. Cervical vertebral fractures in 56 dogs: a retrospective study. *J Am Anim Hosp Assoc* 1999;35:135-46.
- [35] Brinker WO, Hohn RB, Prieur WD. Basic aspects of internal fixation. In: Brinker WO, Olmstead ML, Sumner-Smith G, Prieur WD, eds. *Manual of internal fixation in small animals*. Berlin: Springer-Verlag, 1984: 3–8.
- [36] Stanford RE, Loeffler AH, Stanford PM, et al. Multiaxial pedicle screw designs: static and dynamic mechanical testing. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:367-75.
- [37] Liu T, Zheng WJ, Li CQ, et al. Design and biomechanical study of a modified pedicle screw. *Chin J Traumatol* 2010;13:222-8.

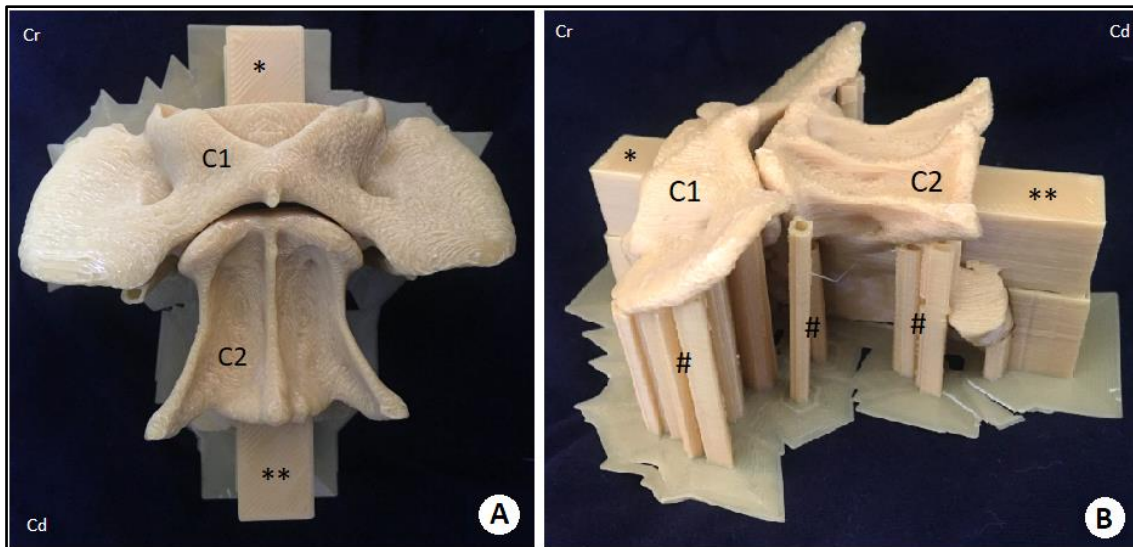


Figura 1. Imagens fotográficas do corpo de prova confeccionado por impressão 3D e representando o aspecto ventral da primeira e segunda vértebras cervicais de cão em modelo de subluxação atlantoaxial. **A)** Vista dorsal; **B)** Vista oblíqua. (C1) primeira vértebra cervical (atlas); (C2) segunda vértebra cervical (áxis); (*) bloco de fixação cranial; (**) bloco de fixação caudal; (#) ligações dorsais removíveis nos aspectos dorsais de C1 e C2; (Cr) cranial; (Cd) caudal.

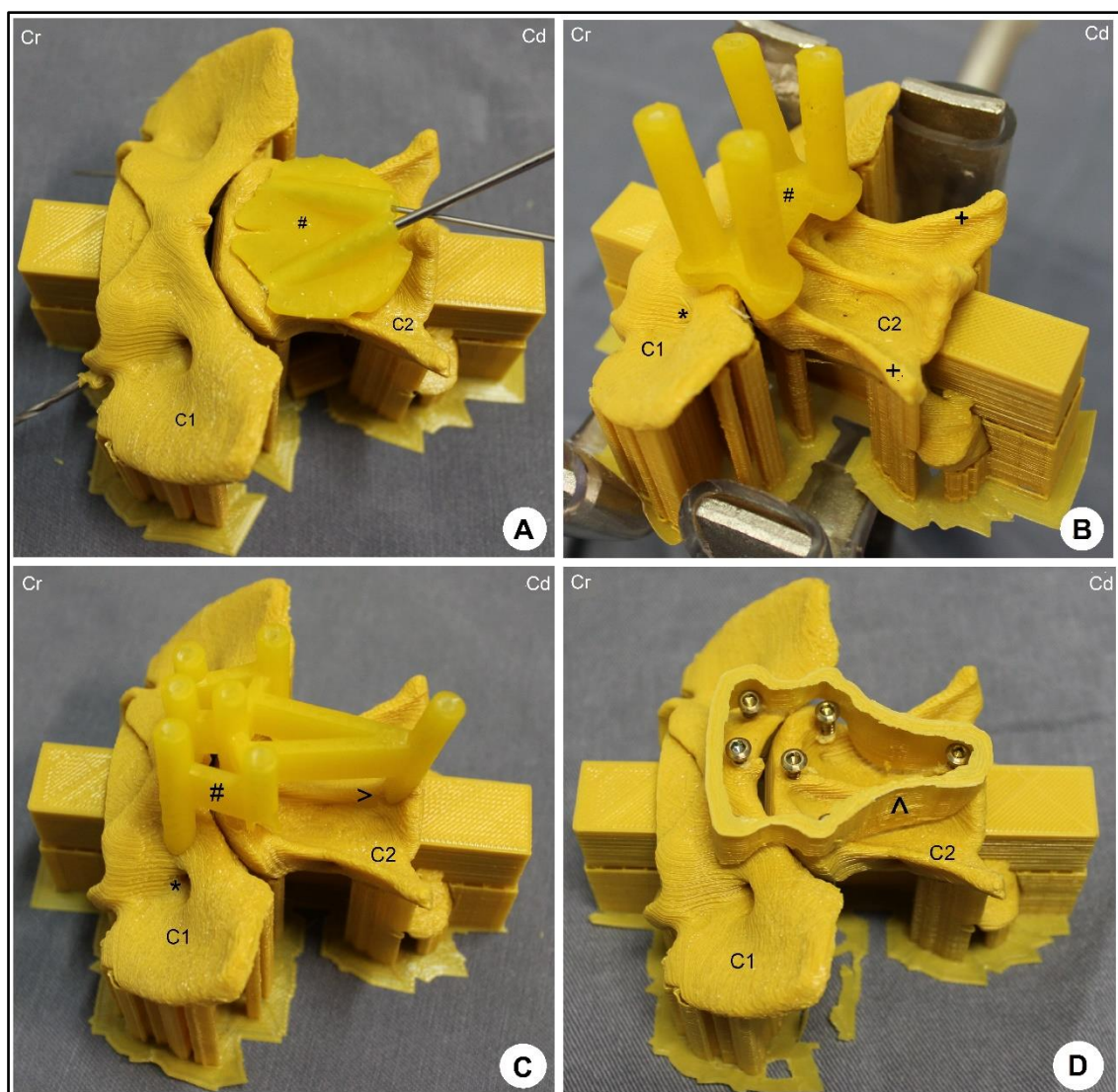


Figura 2. Imagens fotográficas dos guias de perfuração tridimensionais (GP3D) atlantoaxiais e do molde de PMMA posicionados nos corpos de prova. **A)** Guia de perfuração tridimensional transarticular (GP3DTA). Vista dorsolateral; **B)** Guia de perfuração tridimensional poliaxial (GP3DPAX). Vista dorsocaudal; **C)** Guia de perfuração tridimensional múltiplo (GP3DM). Vista dorsolateral; **D)** Molde para acomodação do PMMA na técnica de PPMMA. Nota-se presença de parafusos corticais já implantados e molde envolvendo-os. Vista dorsolateral. (C1) primeira vértebra cervical (atlas); (C2) segunda vértebra cervical (áxis); (*) forame transverso de C1; (+) processo transverso de C2; (>) crista ventral de C2; (#) GP3D atlantoaxiais; (^) molde para acomodação do PMMA; (Cr) cranial; (Cd) caudal.

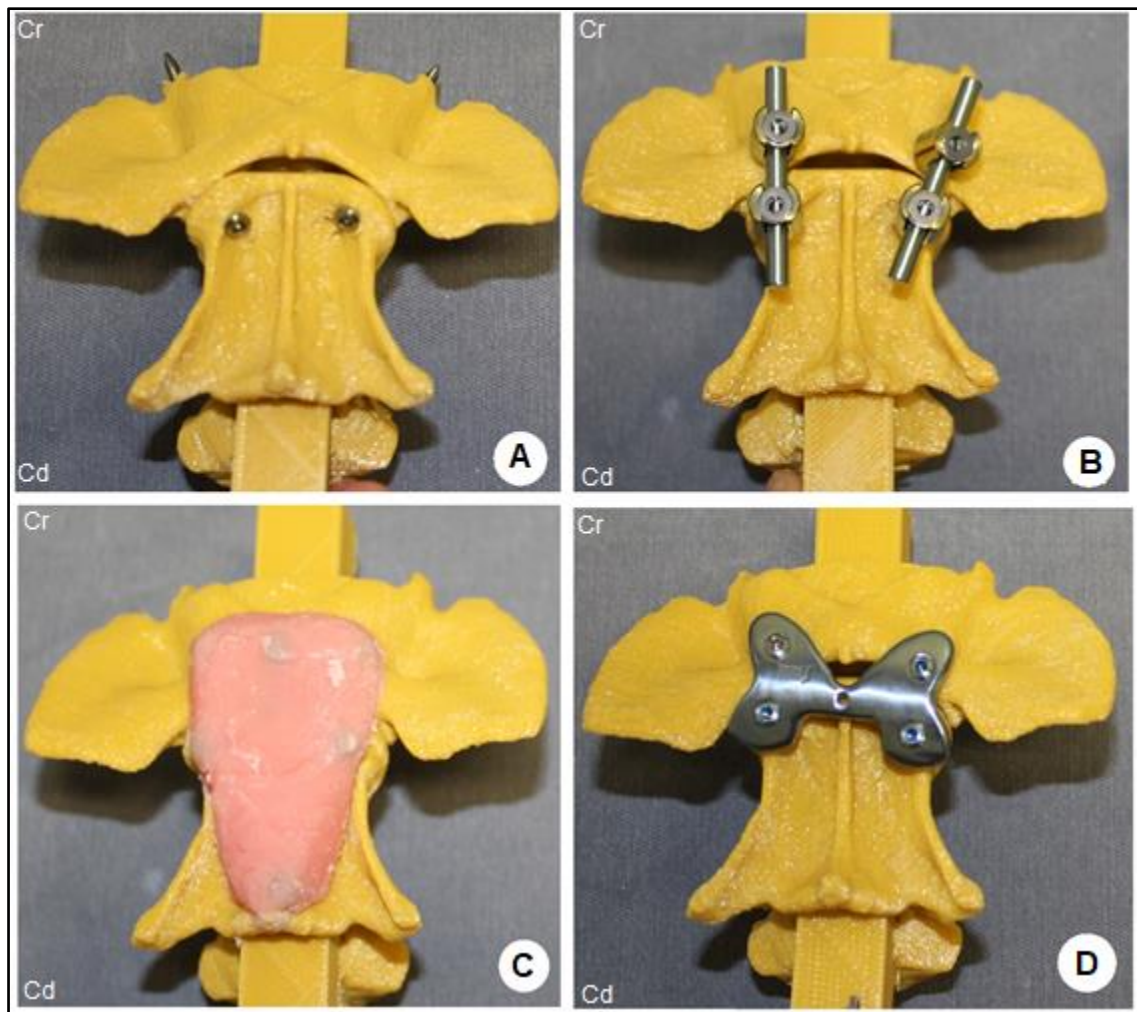


Figura 3. Imagens fotográficas de um corpo de prova de cada grupo ao término da execução das técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial. **A)** Parafusos transarticulares de efeito compressivo (PTA); **B)** Parafusos poliaxiais (PPAX); **C)** Múltiplos parafusos e cimento ósseo (PPMMA); **D)** Placa bloqueada atlantoaxial (PLAA). (Cr) cranial; (Cd) caudal.

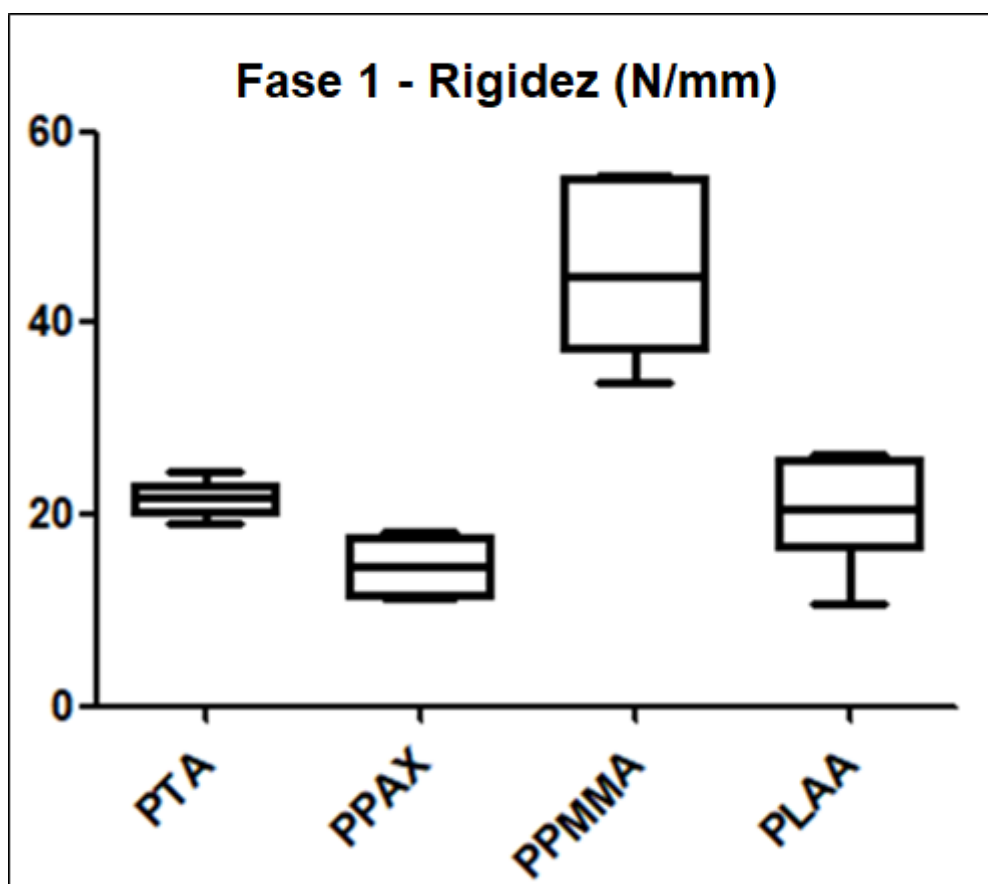


Figura 4. Representação gráfica dos valores de rigidez (N/mm), sob carga de flexão ventral de 25N, das quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães. (PTA) parafusos transarticulares com efeito compressivo; (PPAX) parafusos poliaxiais; (PPMMA) múltiplos parafusos e cimento ósseo; (PLAA) placa bloqueada atlantoaxial.

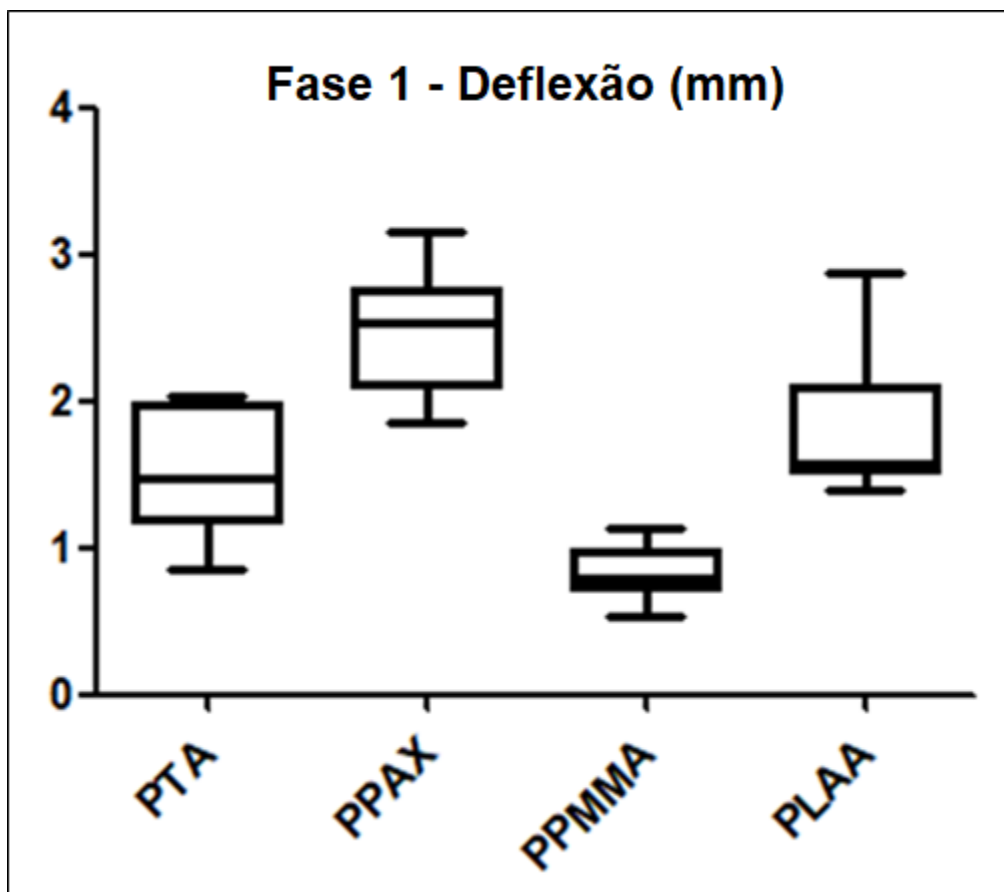


Figura 5. Representação gráfica dos valores de deflexão (mm), sob carga de flexão ventral de 25N, das quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães. (PTA) parafusos transarticulares com efeito compressivo; (PPAX) parafusos poliaxiais; (PPMMA) múltiplos parafusos e cimento ósseo; (PLAA) placa bloqueada atlantoaxial.

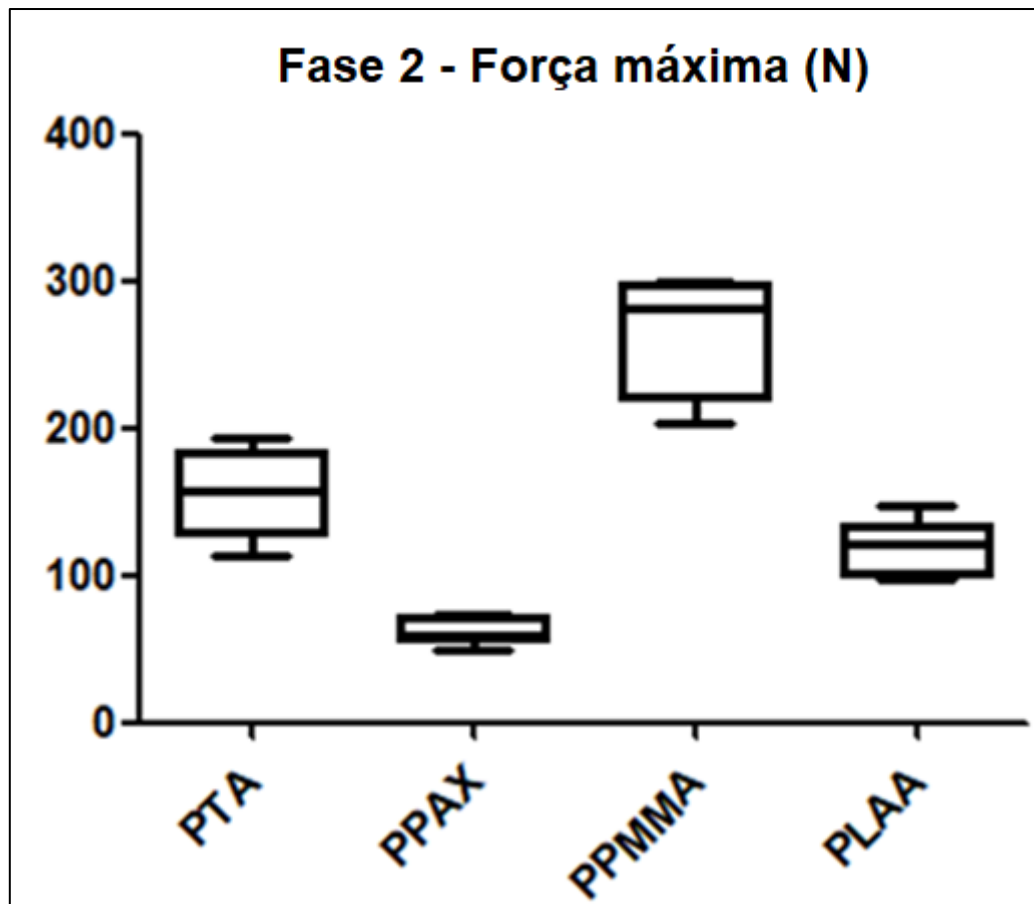


Figura 6. Representação gráfica dos valores de força máxima (N), sob carga de flexão ventral, das quatro técnicas de estabilização ventral da articulação atlantoaxial de cães. (PTA) parafusos transarticulares com efeito compressivo; (PPAX) parafusos poliaxiais; (PPMMA) múltiplos parafusos e cimento ósseo; (PLAA) placa bloqueada atlantoaxial.

APÊNDICE

APÊNDICE A – Material ilustrativo suplementar



Figura 1A. Imagens fotográficas de corpos de prova do grupo parafusos transarticulares de efeito compressivo (PTA) após a segunda fase dos testes biomecânicos. (>) Nota-se fraturas e fissura da porção cranial do corpo do áxis, no local de implantação dos parafusos.



Figura 2A. Imagem fotográfica de corpo de prova do grupo múltiplos parafusos e cimento ósseo (PPMMA) após a segunda fase dos testes biomecânicos. Nota-se fratura do manto de cimento ósseo no espaço articular entre atlas e áxis.

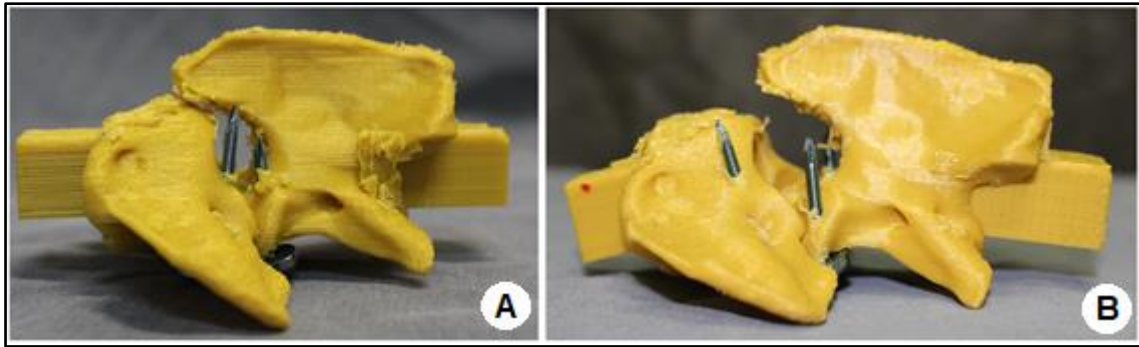


Figura 3A. Imagens fotográficas de corpo de prova do grupo placa atlantoaxial (PLAA) antes **(A)** e depois **(B)** da segunda fase dos testes biomecânicos. Nota-se aumento da distância atlantoaxial dorsal ao final dos testes.

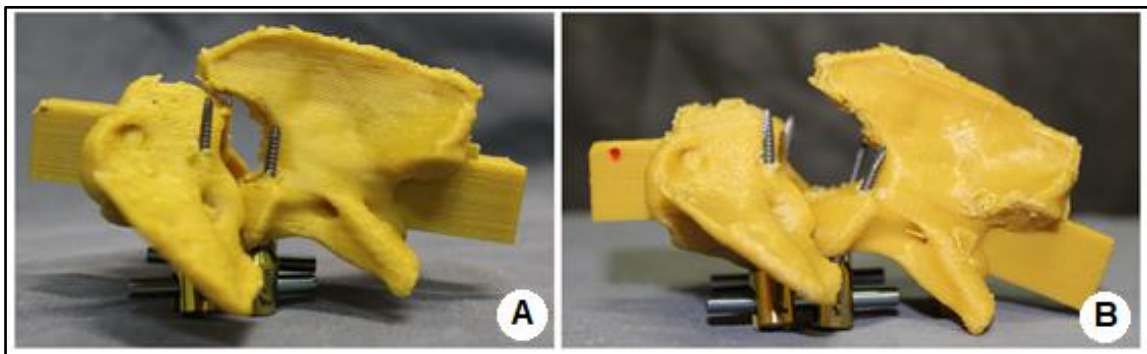


Figura 4A. Imagens fotográficas de corpo de prova do grupo parafusos poliaxiais (PPAX) antes **(A)** e depois **(B)** da segunda fase dos testes biomecânicos. Nota-se substancial aumento da distância atlantoaxial dorsal ao final dos testes.

ANEXO 1 – Normas do periódico “Veterinary Record”

General information and editorial policy

All published material is copyright of the BVA; please refer to the [copyright assignment licence](#).

Contributions and suggestions for all sections of the journal are welcome.

Research in *Vet Record* adheres to the highest standards concerning its editorial policies on publication ethics, scientific misconduct, consent and peer review criteria. To view all BMJ Journal policies please refer to the [BMJ Author Hub policies](#) page.

Papers, short communications and scientific reviews are subject to peer review; other items are published at the discretion of the Editor. Submissions are accepted on the understanding that they have not been published elsewhere and that they are subject to editorial revision. For more details, please visit the [Author Hub](#) where you will find information on [writing and formatting](#) your research through to the [peer review process](#).

Vet Record has three sister journals with different aims and editorial criteria, these are: *In Practice*, *Vet Record Open* and *Vet Record Case Reports*. If you are unsure which of our journals to submit your manuscript to, use our [decision tree](#) to help you find the right one.

Submission guidelines

The following article types are published in *Vet Record*:

[News & reports](#)

News and features

Business and Innovation

[Research](#)

Research papers

Short communications

Scientific reviews

Research digest

Opinion

Letters and Notices

Debate

What is your client thinking?

My view

The solution

Review

Obituaries

Vet Record Careers

The word count excludes the title, abstract (if relevant), tables, captions, acknowledgements, contributions and references. Manuscripts should be as succinct as possible and should adhere to our [Style guide and format](#).

Research in *Vet Record*

Vet Record is committed to publishing high quality, impactful veterinary research. We particularly encourage research that is relevant to practitioners.

Types of research articles considered for publication

In all of the below, public health should be included in the scope of the coverage.

The types of research article we will consider are:

- High-quality original studies of the efficacy of treatments or interventions, such as controlled, blinded studies with statistically significant results
- Case series with descriptions of substantial numbers of cases that can help clinicians to define diagnostic signs, including biochemical, immunological or molecular markers or other important variables
- In-depth reviews of relevant subjects
- Systematic reviews to provide the evidence-base for clinical decision-making

- Clinical guidelines
- Occasionally, single case reports, but only when they are of real novelty or potential significance, for example, novel infectious diseases such as the first case of BSE
- Substantive epidemiological studies yielding conclusions of international significance or of national significance to the UK on the aetiology, risk factors, prevalence, distribution, incidence or economic impact of disease/ill health; including public health
- Research on veterinary education, ethics, veterinary practice and the welfare of veterinarians
- Research on animal welfare that advances standards of animal care
- One health and comparative medicine that contributes to human health or wider biological understanding
- Mini reviews of value for CPD
- Authoritative commentaries on research articles or events
- Synopses of significant research published elsewhere (not necessarily in veterinary journals), which may eventually have important veterinary applications/consequences

Research papers

See above for reporting guidelines requirements and other criteria for submission.

- Papers should include a title of not more than 15 words, and should explain clearly the main conclusion, species should be given.
- Names and addresses of each author.
- An email address for the corresponding author.
- A structured abstract of not more than 200 words covering the background, methods, results and conclusions of the study.
- Papers should be structured into the following sections: abstract, introduction, materials and methods, results, discussion, acknowledgements, references. Clinical papers should follow a similar overall structure.

- The text should be as concise as possible; we recommend a maximum of 4000 words. The word count excludes the title, author details, abstract, tables, figure legends, acknowledgements and references.
- Ethics approval statement, as outlined in the Welfare and ethics section above.
- A statement on funding and competing interests.
- References should be produced in Vancouver format (see our Style guide and format).
- The checklist for the most appropriate reporting guideline should be submitted together with the paper.
- After a manuscript has been revised, authors will be asked to submit both a 'marked copy' with changes tracked in Word and a 'clean' copy with no tracked changes. On acceptance, a one-page summary of the article will be requested and must be provided before the paper is published online.

Formatting your paper

These are general formatting guidelines across BMJ, please always refer to journal-specific instructions for authors for article type specifications. You can browse the titles on our [Journals](#) website. If you are looking to submit to *The BMJ*, please visit [this section](#).

If you are unable to find the answer to your question, our editorial team will be on hand to offer assistance throughout the submission process. Contact details for the editorial team are on the journal's [Contact Us](#) page.

You can also refer to our [formatting checklist](#) to make sure you have covered everything on submission.

- [Title page](#)
- [Keywords](#)
- [Authors and Institutions](#)
- [Manuscript format](#)
- [Style](#)
- [Figures and illustrations](#)
- [Colour images](#)
- [File types](#)

- [Tables](#)
- [Multimedia files](#)
- [References](#)
- [Online only supplementary material](#)

Title page

The title page must contain the following information:

- Title of the article
- Full name, postal address, e-mail and telephone number of the corresponding author
- Full name, department, institution, city and country of all co-authors
- Word count, excluding title page, abstract, references, figures and tables

This is excluded for the journal [BMJ Quality and Safety](#) which operates triple-blind peer review.

Keywords

Authors can usually opt to (or are required to) choose keywords relevant to the content of the manuscript during the submission process. This assists in the identification of the most suitable reviewers for the manuscript. The selected keywords should also be included in the abstract itself.

Authors and Institutions

On submission of your article through our submission system you will be asked to provide a name, email address and institutional affiliation for all contributing authors. In the final published article author names, institutions and addresses will be taken from these completed fields and not from the submitted Word document. Refer to the [BMJ policy on authorship](#) for more information.

Manuscript format

The manuscript must be submitted as a Word document ([BMJ Case Reports](#) and [Veterinary Record Case Reports](#) request that authors submit using a template which should also be in Word format). PDF is not accepted.

The manuscript should be presented in the following order:

- Title page

- Abstract, or a summary for case reports (Note: references should not be included in abstracts or summaries)
- Main text separated under appropriate headings and subheadings using the following hierarchy: BOLD CAPS, bold lower case, Plain text, Italics
- Tables should be in Word format and placed in the main text where the table is first cited. Tables should also be cited in numerical order
- Acknowledgments, Competing Interests, Funding and all other required statements
- References. All references should be cited in the main text in numerical order

Figures must be uploaded as separate files (view further details under the Figures/illustrations section). All figures must be cited within the main text in numerical order and legends should be provided at the end of the manuscript.

Online Supplementary materials should be uploaded using the File Designation “Supplementary File” on the submission site and cited in the main text.

Please remove any hidden text headers or footers from your file before submission.

Style

Acronyms and abbreviations should be used sparingly and fully explained when first used. Abbreviations and symbols must be standard. SI units should be used throughout, except for blood pressure values which should be reported in mm Hg. Whenever possible, drugs should be given their approved generic name. Where a proprietary (brand) name is used, it should begin with a capital letter.

Figures and illustrations

Images must be uploaded as separate files. All images must be cited within the main text in numerical order and legends must be provided (ideally at the end of the manuscript).

Colour images

For certain journals, authors of unsolicited manuscripts that wish to publish colour figures in print will be charged a fee to cover the cost of printing. Refer to the specific journal's instructions for authors for more information.

Alternatively, authors are encouraged to supply colour illustrations for online publication and black and white versions for print publication. Colour publication online is offered at no charge, but the figure legend must not refer to the use of colours.

File types

Figures should be submitted in TIFF, EPS, JPEG or PDF formats. In EPS files, text (if present) should be outlined. For non-vector files (eg TIFF, JPEG) a minimum resolution of 300 dpi is required, except for line art which should be 1200 dpi. Histograms should be presented in a simple, two-dimensional format, with no background grid.

For figures consisting of multiple images/parts, please ensure these are submitted as a single composite file for processing. We are unable to accept figures that are submitted as multiple files.

During submission, ensure that the figure files are labelled with the correct File Designation of “Mono Image” for black and white figures and “Colour Image” for colour figures.

Figures are checked using automated quality control and if they are below the minimum standard you will be alerted and asked to resupply them.

Please ensure that any specific patient/hospital details are removed or blacked out (e.g. X-rays, MRI scans, etc). Figures that use a black bar to obscure a patient's identity are not accepted.

Tables

Tables should be in Word format and placed in the main text where the table is first cited. Tables must be cited in the main text in numerical order. Please note that tables embedded as Excel files within the manuscript are NOT accepted. Tables in Excel should be copied and pasted into the manuscript Word file.

Tables should be self-explanatory and the data they contain must not be duplicated in the text or figures. Any tables submitted that are longer/larger than 2 pages will be published as online only supplementary material.

Multimedia files

You may submit multimedia files to enhance your article. Video files are preferred in .WMF or .AVI formats, but can also be supplied as .FLV, .Mov, and .MP4. When submitting, please ensure you upload them using the File Designation “Supplementary File – Video”.

References

Authors are responsible for the accuracy of cited references and these should be checked before the manuscript is submitted.

Citing in the text

References must be numbered sequentially as they appear in the text. References cited in figures or tables (or in their legends and footnotes) should appear at the end of the reference list to avoid re-numbering if tables and figures are moved around at peer review/proof stage. Reference numbers in the text should be inserted immediately after punctuation (with no word spacing)—for example,[6] not [6].

Where more than one reference is cited, these should be separated by a comma, for example,[1, 4, 39]. For sequences of consecutive numbers, give the first and last number of the sequence separated by a hyphen, for example,[22-25]. References provided in this format are translated during the production process to superscript type, and act as hyperlinks from the text to the quoted references in electronic forms of the article.

Please note that if references are not cited in order the manuscript may be returned for amendment before it is passed on to the Editor for review.

Preparing the reference list

References must be numbered consecutively in the order in which they are mentioned in the text.

Only papers published or in press should be included in the reference list. Personal communications or unpublished data must be cited in parentheses in the text with the name(s) of the source(s) and the year. Authors should request permission from the source to cite unpublished data.

Journals from BMJ use a slightly modified version of Vancouver referencing style (see example below) available in Endnote. Note that The BMJ uses a different style.

BMJ reference style

List the names and initials of all authors if there are 3 or fewer; otherwise list the first 3 and add 'et al.' (The exception is the Journal of Medical Genetics, which lists all authors). Use one space only between words up to the year and then no spaces. The journal title should be in italic and abbreviated according to the style of Medline. If the journal is not listed in Medline then it should be written out in full.

Example references

- **Journal article:** 13 Koziol-Mclain J, Brand D, Morgan D, et al. Measuring injury risk factors: question reliability in a statewide sample. *Inj Prev* 2000;6:148–50.
- **Book:** 15 Howland J. Preventing Automobile Injury: New Findings From Evaluative Research. Dover, MA: Auburn House Publishing Company 1988:163–96.
- **Chapter in a book:** 14 Nagin D. General deterrence: a review of the empirical evidence. In: Blumstein A, Cohen J, Nagin D, eds. Deterrence and Incapacitation: Estimating the Effects of Criminal Sanctions on Crime Rates. Washington, DC: National Academy of Sciences 1978:95–139.
- **Abstract/supplement:** 16 Roxburgh J, Cooke RA, Deverall P, et al. Haemodynamic function of the carbomedics bileaflet prosthesis [abstract]. *Br Heart J* 1995;73(Suppl 2):P37.
- **Electronic citations:** Websites are referenced with their URL and access date, and as much other information as is available. Access date is important as websites can be updated and URLs change. The “date accessed” can be later than the acceptance date of the paper, and it can be just the month accessed.
- **Electronic journal articles:** Morse SS. Factors in the emergency of infectious diseases. *Emerg Infect Dis* 1995 Jan-Mar;1(1). www.cdc.gov/nciod/EID/vol1no1/morse.htm (accessed 5 Jun 1998).

- **Electronic letters:** Bloggs J. Title of letter. *Journal name* Online [eLetter] Date of publication. url eg: Krishnamoorthy KM, Dash PK. Novel approach to transseptal puncture. *Heart* Online [eLetter] 18 September 2001. <http://heart.bmj.com/cgi/eletters/86/5/e11#EL1>
- **Legal material:** Toxic substances Contro Act: Hearing on S776 Before the Subcommittee of the Environment of the Senate Comm. on Commerce, 94th Congress 1st September (1975).
- **Law references:** The two main series of law reports, Weekly Law Reports (WLR) and All England Law Reports (All ER) have three volumes a year e.g. Robertson v Post Office [1974] 1 WLR 1176

There are good historical precedents for the use of square and round brackets. Since 1891, round ones have referred to the date of the report, square ones to the date of publication of the report. Apart from not italicising the name of the case, we use the lawyers' style; be careful with punctuation, e.g. Caparo Industries plc v Dickman and others [1990] 1 All ER 568-608.

Digital Object Identifier (DOI)

A DOI is a unique string created to identify a piece of intellectual property in an online environment and is particularly useful for articles that are published online before appearing in print (and therefore have not yet been assigned the traditional volume, issue and page number references). The DOI is a permanent identifier of all versions of an article, whether raw manuscript or edited proof, online or in print. Thus the DOI should ideally be included in the citation even if you want to cite a print version of an article.

- **Cite an article with a DOI before published in print:** Alwick K, Vronken M, de Mos T, et al. Cardiac risk factors: prospective cohort study. *Ann Rheum Dis* Published Online First: 5 February 2004. doi:10.1136/ard.2003.001234
- **Cite an article with a DOI once published in print:** Vole P, Smith H, Brown N, et al. Treatments for malaria: randomised controlled trial. *Ann Rheum Dis* 2003;327:765–8 doi:10.1136/ard.2003.001234 [published Online First: 5 February 2002].

Online only supplementary material

Additional figures and tables, methodology, raw data, etc may be published online only as supplementary material. If your paper exceeds the word count you should consider if any parts of the article could be published online only. Please note that these files will not be copyedited or typeset and will be published as supplied, therefore PDF files are preferred.

All supplementary files should be uploaded using the File Designation “Supplementary File”. Please ensure that any supplementary files are cited within the main text of the article.

Some journals also encourage authors to submit translated versions of their abstracts in their local language, which are published online only alongside the English version. These should be uploaded using the File Designation “Abstract in local language”.