

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA MARIA
CENTRO DE CIÊNCIAS RURAIS
PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM MEDICINA VETERINÁRIA

Raquel Baumhardt

**CONTRIBUIÇÕES RADIOGRÁFICAS NO DIAGNÓSTICO E NO
PLANEJAMENTO CIRÚRGICO DE AFECÇÕES DA COLUNA
VERTEBRAL EM CÃES**

Santa Maria, RS
2024

Raquel Baumhardt

**CONTRIBUIÇÕES RADIOGRÁFICAS NO DIAGNÓSTICO E NO PLANEJAMENTO
CIRÚRGICO DE AFECÇÕES DA COLUNA VERTEBRAL EM CÃES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária, Área de Cirurgia e Clínica Veterinária, da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Medicina Veterinária**.

Orientador Prof. Dr. Alexandre Mazzanti

Santa Maria, RS
2024

This study was financed in part by the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Finance Code 001

Baumhardt, Raquel
CONTRIBUIÇÕES RADIOGRÁFICAS NO DIAGNÓSTICO E NO
PLANEJAMENTO CIRÚRGICO DE AFECÇÕES DA COLUNA VERTEBRAL EM
CÃES / Raquel Baumhardt.- 2024.
80 p.; 30 cm

Orientador: Alexandre Mazzanti
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Maria, Centro de Ciências Rurais, Programa de Pós
Graduação em Medicina Veterinária, RS, 2024

1. Radiografia 2. Neuroimagem 3. Planejamento
cirúrgico 4. Fratura vertebral 5. Compressão medular I.
Mazzanti, Alexandre II. Título.

Sistema de geração automática de ficha catalográfica da UFSM. Dados fornecidos pelo autor(a). Sob supervisão da Direção da Divisão de Processos Técnicos da Biblioteca Central. Bibliotecária responsável Paula Schoenfeldt Patta CRB 10/1728.

Declaro, RAQUEL BAUMHARDT, para os devidos fins e sob as penas da lei, que a pesquisa constante neste trabalho de conclusão de curso (Tese) foi por mim elaborada e que as informações necessárias objeto de consulta em literatura e outras fontes estão devidamente referenciadas. Declaro, ainda, que este trabalho ou parte dele não foi apresentado anteriormente para obtenção de qualquer outro grau acadêmico, estando ciente de que a inveracidade da presente declaração poderá resultar na anulação da titulação pela Universidade, entre outras consequências legais.

RAQUEL BAUMHARDT

**CONTRIBUIÇÕES RADIOGRÁFICAS NO DIAGNÓSTICO E NO PLANEJAMENTO
CIRÚRGICO DE AFECÇÕES DA COLUNA VERTEBRAL EM CÃES**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Medicina Veterinária da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), como requisito parcial para obtenção do título de **Doutora em Medicina Veterinária - Área de Cirurgia e Clínica Veterinária.**

Aprovada em 22 de Março de 2024:

Alexandre Mazzanti, Dr. (UFSM)
(Presidente/Orientador)

Graciane Aiello, Dra. (UFSM)

Luís Felipe Dutra Corrêa, Dr. (UFSM)

Márcio Poletto Ferreira, Dr. (UFRGS)

Rafael Oliveira Chaves, Dr. (CENOV, RS)

Santa Maria, RS
2024

Dedico esta tese aos animais que terão oportunidade de tratamento, mesmo na impossibilidade de tecnologias avançadas de diagnóstico por imagem.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela simples oportunidade da vida e pelas pessoas que Ele colocou em meu caminho.

À minha família, meus pais, Marcos e Ana, minha irmã Natália, por todo apoio, cuidado e dedicação dados a mim durante toda minha jornada acadêmica. Vocês são meu porto seguro. Sem vocês, nada disso seria possível. Amo vocês!

Ao meu amor, Maurício, e minhas amadas filhas, Manuela e Eduarda, família que construí e que é a razão de todo meu esforço e dedicação. Amo vocês! Obrigada por entenderem quando precisei me ausentar e por me derem força para continuar. Maurício, meu bem, obrigada por “segurar as pontas”, ser esse paizão que sempre imaginei que seria, além de ser integrante essencial para a execução das pesquisas dessa tese.

Agradeço ao meu orientador, professor Alexandre Mazzanti, que me orientou e guiou meus passos na neurologia desde a graduação até hoje. És inspiração pra mim. Obrigada pela troca de conhecimentos e por toda compreensão, em especial nesses últimos quatro anos. Ao meu dindo, Alexandre e meu amigo Diego pela paciência e apoio nas explicações dos dados estatísticos dessa tese.

Ao meu querido Setor de Diagnóstico por Imagem, Professor Ricardo, Professor Igor, colegas Maria, Maicon, Márcio, Paulo e Tati, e todos os residentes, em especial os do meu último ano do doutorado (Alanna, Anna, Cátia e Diogo) e estagiários, pela troca de conhecimentos, pelo carinho e amizade e por entenderem minha “sobrecarga” e me aliviarem nesse período desafiador. Muito obrigada!

Aos demais professores do Curso de Medicina Veterinária, do Programa de Pós-Graduação, aos colegas Técnicos Administrativos em Educação, demais residentes, mestrandos e doutorandos, por compartilharem do seu tempo e conhecimento durante este período. Aos alunos, estagiários, servidores e funcionários pelo carinho e auxílio. Muito obrigada!

Agradeço aos animais e pacientes que tive, que são a razão e a motivação do meu estudo. Prometo sempre me esforçar ao máximo para poder retribuir cada lambida, abano de rabo e ronronar que recebi. Aos meus amores Adão, Chanel, Tina, Mel e Nala. Sempre amarei vocês! Serei eternamente grata!

A esperança do tratamento reside não apenas nas tecnologias mais avançadas, mas também na habilidade e dedicação dos profissionais de saúde de encontrar soluções criativas e eficazes, mesmo com recursos mais simples.

Raquel Baumhardt

RESUMO

CONTRIBUIÇÕES RADIOGRÁFICAS NO DIAGNÓSTICO E NO PLANEJAMENTO CIRÚRGICO DE AFECÇÕES DA COLUNA VERTEBRAL EM CÃES

AUTORA: Raquel Baumhardt
ORIENTADOR: Alexandre Mazzanti

As radiografias convencionais e a mielografia ainda são utilizadas na medicina veterinária para o diagnóstico de determinadas doenças que afetam a coluna vertebral e a medula espinhal. No entanto, vem sendo substituída por modalidades de imagem mais avançadas, como a tomografia computadorizada e a ressonância magnética. Muitas vezes, os exames avançados de imagem são indicados de forma complementar por permitirem avaliação mais precisa de diferentes estruturas e tecidos. Não se discute que estes são os métodos mais indicados para o diagnóstico das doenças neurológicas e não se questiona os importantes avanços na pesquisa relacionados a essas técnicas. No entanto, a realidade ainda observada na medicina veterinária é que grande parte dos pacientes não são contemplados com esses avanços tecnológicos, seja por indisponibilidade de equipamentos ou por restrição financeira dos tutores. O objetivo desta tese foi utilizar a radiografia digital para: melhorar a acurácia do diagnóstico de cães com extrusão do disco intervertebral (EDIV), principalmente àqueles com edema extenso da medula espinhal; e auxiliar no planejamento de cirurgias de estabilização da coluna vertebral lombar de cães para a inserção de pinos e/ou parafusos, possibilitando, assim, a chance de tratamento com auxílio diagnóstico de pacientes que não tem acesso a exames avançados de imagem. A tese contém dois estudos. O primeiro foi realizado no intuito de propor mensurações radiográficas dos corpos de vértebras lombares (L1 à L6) de cadáveres caninos, que sejam capazes de prever, por meio de modelos matemáticos, a profundidade de inserção de pinos bicorticais nos corpos vertebrais. O segundo teve como objetivo avaliar a acurácia de exames mielográficos convencionais, incluindo uma aquisição de imagem em projeção radiográfica lateral durante a injeção de contraste no espaço subaracnóide (projeção lateral do estudo dinâmico) na localização da lesão compressiva em cães com EDIV toracolombar e lombar. Concluímos que a radiografia digital ainda é um exame diagnóstico útil na neuroimagem, quando não estão disponíveis as modalidades avançadas e é possível a realização de planejamento cirúrgico para inserção de implantes nos corpos vertebrais lombares, utilizando modelos matemáticos para prever o valor de profundidade de inserção do implante através de mensurações radiográficas. A inclusão da projeção lateral do estudo dinâmico em exames de mielografia melhora a eficácia diagnóstica em cães com extrusão de disco intervertebral toracolombar, principalmente naqueles com edema extenso da medula espinhal, auxiliando identificação do local de compressão medular.

Palavras-chave: Radiografia. Neuroimagem. Planejamento cirúrgico. Fratura vertebral. Compressão medular.

ABSTRACT

RADIOGRAPHIC CONTRIBUTIONS IN THE DIAGNOSIS AND SURGICAL PLANNING OF SPINAL DISORDERS IN DOGS

AUTHOR: Raquel Baumhardt
ADVISOR: Alexandre Mazzanti

Conventional radiographs and myelography are still used in veterinary medicine to diagnose certain diseases affecting the spinal column and spinal cord. However, they are being replaced by more advanced imaging modalities such as computed tomography and magnetic resonance imaging. Advanced imaging exams are often recommended in addition to conventional methods because they allow for a more precise evaluation of different structures and tissues. It is undeniable that these are the most suitable methods for diagnosing neurological diseases, and there is no question about the significant advances in research related to these techniques. However, the reality still observed in veterinary medicine is that a large portion of patients do not have access to these technological advancements, either due to equipment unavailability or financial restrictions of the owners.

The aim of this thesis was to use digital radiography to improve the accuracy of diagnosing dogs with intervertebral disc extrusion (IVDE), especially those with extensive spinal cord edema, and to assist in planning surgeries to stabilize the lumbar vertebral column of dogs for the insertion of pins and/or screws, thus enabling treatment with diagnostic aid for patients who do not have access to advanced imaging exams. The thesis contains two studies. The first aimed to propose radiographic measurements of canine lumbar vertebral bodies (L1 to L6) from cadavers capable of predicting, through a mathematical model, the length of insertion of bicortical pins into the vertebral bodies. The second aimed to evaluate the accuracy of conventional myelographic exams, including a lateral radiographic image acquisition during contrast injection into the subarachnoid space (lateral projection of dynamic study) at the location of the compressive lesion in dogs with thoracolumbar and lumbar IVDE. We conclude that digital radiography remains a useful diagnostic tool in neuroimaging when advanced modalities are unavailable. Surgical planning for implant insertion in lumbar vertebral bodies is feasible, using mathematical models to predict the length of implant insertion through radiographic measurements. The inclusion of lateral projection in dynamic myelography exams improves diagnostic efficacy in dogs with thoracolumbar intervertebral disc extrusion, particularly in those with extensive spinal cord edema, aiding in the identification of the site of spinal cord compression.

Keywords: X-ray. Radiography. Neuroimaging. Surgical planning. Vertebral fracture. Spinal compression.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.2	NEUROIMAGEM DA COLUNA VERTEBRAL	10
1.2.1	Anatomia	10
1.2.2	Radiografia	12
1.2.3	Mielografia	14
1.2.4	Fluoroscopia	16
1.2.5	Tomografia computadorizada	17
1.2.6	Ressonância magnética	18
1.3	ESTUDOS COMPARATIVOS DE NEUROIMAGEM DA COLUNA VERTEBRAL	20
1.3.1	Neuroimagem nas fraturas e luxações vertebrais	21
1.3.2	Neuroimagem na extrusão do disco intervertebral	25
1.4	REALIDADE ATUAL DA NEUROIMAGEM NA MEDICINA VETERINÁRIA	28
2	ARTIGO 1	32
3	ARTIGO 2	54
4	DISCUSSÃO	69
5	CONCLUSÃO	72
	REFERÊNCIAS	73

1 INTRODUÇÃO

1.2 NEUROIMAGEM DA COLUNA VERTEBRAL

São várias as indicações de imagens para auxílio diagnóstico de doenças da coluna vertebral e medula espinhal. A disponibilidade de equipamentos, custo para o cliente e a pergunta clínica ditam a escolha da modalidade de imagem. Obter anamnese detalhada e realizar exame ortopédico e neurológico preciso são essenciais ao determinar o segmento espinhal a ser investigado e escolher o teste de imagem mais provável de fornecer um diagnóstico (NELSON, 2023).

1.2.1 Anatomia

A coluna vertebral consiste de vértebras organizadas em cinco diferentes grupos: vértebras cervicais, torácicas, lombares, sacrais e caudais (anteriormente referenciadas como coccígeas). A fórmula vertebral é formada pela primeira letra (ou abreviação) de cada grupo, seguido do número de vértebras contidas neles. Para os cães, a fórmula vertebral é C7, T13, L7, S3 e Cd6-Cd23 (EVANS; DE LAHUNTA, 2013; THRALL; WIDMER, 2018).

Todas as vértebras, exceto as vértebras sacrais, permanecem separadas e articulam-se com as vértebras contíguas, formando articulações móveis. As três vértebras sacrais são fundidas para formar um único osso, o sacro. As vértebras protegem a medula espinhal e as raízes dos nervos espinhais, auxiliam no suporte da cabeça e fornecem pontos de fixação para os músculos que controlam os movimentos corporais. Embora a quantidade de movimento entre duas vértebras seja limitada, a coluna vertebral como um todo possui flexibilidade considerável (EVANS; DE LAHUNTA, 2013).

A vértebra é composta pelo corpo, arco vertebral e processos para conexões musculares e articulares, como os processos espinhoso, transversos, articulares, acessórios e mamilares (EVANS; DE LAHUNTA, 2013).

Com exceção de C1, o corpo vertebral possui o centro mais estreito, epífise cranial levemente convexa e a epífise caudal com depressão central, que se unem ao disco intervertebral (EVANS; DE LAHUNTA, 2013; WIDMER; THRALL, 2018). O

arco vertebral consiste de dois pedículos, que se estendem dorsalmente a partir da superfície dorsolateral do corpo; e duas lâminas, direita e esquerda, que compõe o aspecto dorsal do arco vertebral e se unem na linha médio-dorsal para formar o processo espinhoso. Lateralmente, a partir da região onde o pedículo se une com o corpo vertebral, se projetam os processos transversos direito e esquerdo. Os processos articulares estão presentes aos pares na superfície cranial e caudal das vértebras, na junção da lâmina com o pedículo (EVANS; DE LAHUNTA, 2013) e formam as articulações sinoviais ao longo da porção dorsal da coluna vertebral (WIDMER; THRALL, 2018).

O arco e o corpo formam, em cada vértebra, o forame vertebral. Todos os forames vertebrais contribuem para formar o canal vertebral. O pedículo do arco vertebral tem uma incisura cranial (rasa) e uma caudal (profunda). Quando as vértebras estão articuladas, as incisuras caudal e cranial das vértebras adjacentes formam os forames intervertebrais direito e esquerdo, por onde passam as raízes nervosas, artérias e veias (EVANS; DE LAHUNTA, 2013).

Os processos mamilares estão presentes aos pares a partir da segunda ou terceira vértebra torácica como pequenas proeminências que se projetam dorsalmente a partir do processo transversos. Na décima primeira vértebra torácica, eles se associam aos processos articulares craniais e se continuam até a região de vértebras caudais. Os processos acessórios aparecem pela primeira vez na região média da coluna torácica e estão localizados em segmentos subsequentes até a quinta ou sexta vértebra lombar. Eles se estendem caudalmente a partir das bordas caudais dos pedículos e, quando bem desenvolvidos, formam fenda lateral ao processo articular caudal que se articula com o processo articular cranial da vértebra caudal a ele (EVANS; DE LAHUNTA, 2013).

O disco intervertebral é composto por fibrocartilagem, o centro consiste em um material gelatinoso, o núcleo pulposo, que é cercado por várias lâminas de tecido fibroso altamente organizado, o ânulo fibroso. O espesso ânulo fibroso do disco se fixa firmemente às vértebras adjacentes, formando parede de retenção robusta para o centro gelatinoso e amorfo (HANSEN, 1952).

Os ligamentos longitudinais da coluna vertebral dão suporte dorsal e ventral aos discos intervertebrais. O ligamento longitudinal dorsal se localiza no assoalho do canal vertebral e o ligamento longitudinal ventral se estende pela superfície ventral

da coluna vertebral. Os ligamentos intercapitais são bandas fibrosas curtas e transversas que repousam ventrais ao ligamento longitudinal dorsal e dorsalmente ao ânulo fibroso, unindo as cabeças das costelas entre T2 e T11, reduzindo a probabilidade de protrusão dorsal do disco nesta região. Os ligamentos amarelos (ligamentum flavum), também chamados ligamentos interarqueados, são lâminas frouxas, delgadas e elásticas que unem o espaço entre os arcos de vértebras adjacentes (EVANS; DE LAHUNTA, 2013; MAI, 2018).

A medula espinhal começa no forame magno, apresenta maior diâmetro nas intumescências cervical e lombar, onde caudalmente se afina e termina em cone alongado, designado de cone medular. Essa região fica caudal à L6 em cães de raças de pequeno porte e cranial à L6 nos cães de raças de porte maior. O cone medular é cercado por feixe de raízes nervosas espinhais dirigidos caudalmente, denominado de cauda equina. Os segmentos da medula espinhal e as vértebras possuem a mesma designação numérica, exceto o segmento medular C8, mas a localização de cada segmento da medula espinhal tende a ser cranial ao segmento vertebral correspondente (EVANS; DE LAHUNTA, 2013; MAI, 2018).

A medula espinhal é cercada pelas meninges. A pia-máter é a camada meníngea mais interna, seguida da membrana aracnóide e após, a dura-máter, que é a camada meníngea mais externa. A pia-máter é firmemente ligada à medula espinhal e altamente vascularizada. A aracnoide e a dura-máter são firmemente ligadas entre si. O espaço subaracnoide medular começa no forame magno, onde se comunica com o espaço subaracnoide intracraniano, e termina caudalmente no filamento terminal, que se fixa à vértebra sacral ou caudal. Contém líquido e trabéculas aracnóides que unem a aracnoide à pia-máter. Também há líquido no canal central da medula espinhal. O espaço epidural é periférico à dura-máter e contém gordura e o plexo venoso vertebral interno. As raízes nervosas saem pelo forame intervertebral. O feixe de raízes dos nervos medulares na área lombossacra é conhecido como cauda equina (EVANS; DE LAHUNTA, 2013; MAI, 2018).

1.2.2 Radiografia

Os raios X foram descobertos em 8 de novembro de 1895 por Wilhelm Conrad Roentgen, físico alemão, que foi premiado com primeiro Prêmio Nobel de

Física em 1901. Mais de 110 anos após esta descoberta, os raios X continuam a ser amplamente utilizados na radiografia e tomografia computadorizada em pessoas e animais (THRALL; WIDMER, 2018).

O objetivo na radiologia diagnóstica é obter o máximo de informações com exposição mínima à radiação do paciente, funcionários e público em geral. Trabalhadores de radiação na prática veterinária devem estar cientes dos riscos da radiação, devem ser instruídos sobre o uso adequado e cuidados dos equipamentos de radioproteção, como aventais e luvas de proteção, e nos conceitos do princípio ALARA (As Low As Reasonably Achievable) (HENDEE; EDWARDS, 1986; THRALL; WIDMER, 2018).

A transição da radiologia analógica para a digital melhorou consideravelmente a qualidade dos estudos radiográficos adquiridos na medicina veterinária. Os principais fatores que contribuem para a qualidade superior de imagem das radiografias digitais são a otimização do contraste e a latitude de exposição. Isto faz com que a imagem apresente mais tonalidades de cinza interpretáveis, não parecendo superexpostas (pretas) ou subexpostas (brancas). A transição para a radiografia digital levou a redução dramática no número de repetições, especialmente àquelas relacionadas com os erros na exposição radiográfica (THRALL; WIDMER, 2018).

A radiografia é um exame amplamente disponível na medicina veterinária e continua sendo o teste de imagem de primeira linha mais comum ao avaliar pacientes com dor ou sintomas neurológicos localizados a um segmento da coluna (NELSON, 2023; FUCHS *et al.*, 2023).

A coluna vertebral é anatomicamente complexa e é fundamental que o paciente seja posicionado simetricamente. Dependendo do segmento espinhal estudado, podem ser necessários múltiplos pontos de centralização dos feixes de raio X. Conforme a divergência do feixe aumenta periféricamente em relação ao eixo central do feixe primário de raios X, ocorre maior distorção da imagem das vértebras e espaços intervertebrais (THRALL; WIDMER, 2018).

Idealmente, é recomendado a tranquilização ou contenção química para o posicionamento preciso, a menos que não seja indicada pela condição do paciente (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; WIDMER; THRALL, 2018). Segundo DA COSTA *et al.* (2020), a anestesia geral é uma recomendação desnecessária,

considerando que os pacientes podem ser posicionados adequadamente para radiografias simples sob sedação, e deve ser reservada para técnicas que possam fornecer diagnóstico definitivo de lesões compressivas, como mielografia, tomografia computadorizada ou ressonância magnética.

A radiografia é principalmente utilizada como ferramenta de triagem rápida para anormalidades ósseas evidentes e são necessárias no mínimo duas projeções ortogonais. Tumores ósseos evidentes, discospondilite avançada, fraturas ou luxações deslocadas e anomalias vertebrais congênitas podem ser identificados em radiografias simples da coluna em pacientes não anestesiados. Já nos pacientes sob anestesia, as radiografias simples podem revelar várias anormalidades, como alterações sugestivas de doença do disco intervertebral, fraturas vertebrais sutis ou subluxações com mínimo deslocamento, lesões ósseas sutis associadas a neoplasias, anomalias associadas a facetas articulares e alterações ósseas sutis sugestivas de discospondilite precoce (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

1.2.3 Mielografia

A mielografia é um procedimento no qual radiografias da coluna vertebral são obtidas após a injeção de agente de contraste radiopaco no espaço subaracnoide da medula espinal. Agentes de contraste não iônicos, iodados e solúveis em água são utilizados, sendo o iohexol e o iopamidol os mais comuns. (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

Com o paciente sob anestesia geral, é realizada punção com agulha espinhal na cisterna magna ou lombar, dependendo da região a ser examinada e da escolha do profissional que realizará o procedimento (MUHLBAUER; KNELLER, 2023). Indica-se a colheita do líquido previamente a administração de contraste, pois ele poderá alterar a sua composição e impedir a análise precisa por no mínimo três a cinco dias após a administração do contraste (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016). A dose de contraste iodado não iônico varia de 0,3 ml/kg para estudos regionais a 0,45 ml/kg para estudos totais da medula espinhal (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; MUHLBAUER; KNELLER, 2023), não devendo exceder 8 ml de volume total, independente do peso do paciente (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016). O aquecimento do contraste à temperatura corporal ajuda na diminuição da

viscosidade da solução, o que melhora a mistura com o líquido cefalorraquidiano e ajuda a minimizar a probabilidade de reações adversas (MUHLBAUER; KNELLER, 2023). A injeção do contraste deve ser realizada de forma lenta, aproximadamente 2 a 3 ml por minuto, sendo indicada a administração de uma dose teste (0,5 a 1 ml) antes do volume total calculado, a fim de verificar a administração correta no espaço subaracnóide (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

Após a injeção do contraste, são adquiridas imagens radiográficas em projeções laterais, ventrodorsais e oblíquas (KIRBERGER; ROOS; LUBBE, 1992; MACIAS *et al.*, 2002; TANAKA; NAKAYAMA; TAKASE, 2004; GIBBONS *et al.*, 2006; ZARDO *et al.*, 2010; SCHWAB *et al.*, 2020). Existem quatro padrões básicos de mielografia: normal, extradural, intradural/extramedular e intramedular. Normalmente, as colunas de contraste são paralelas uma à outra, são mais largas nas regiões das intumescências cervical e lombar e se afunilam na região da cauda equina (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

O padrão extradural é aquele onde se observa desvio das colunas de contraste em direção ao parênquima medular (ou desvio axial), podendo ou não estar associado a atenuação ou falha no preenchimento de contraste (MACIAS *et al.*, 2002; GIBBONS *et al.*, 2006; ISRAEL *et al.*, 2009; ZARDO *et al.*, 2010; SCHWAB *et al.*, 2020), devido à compressão externa nas meninges causando diminuição do espaço subaracnóide.

Quando a lesão está localizada no espaço subaracnoide é evidenciado o padrão intradural/extramedular. À medida que o contraste flui ao redor da lesão obstrutiva, ela pode ser delineada, aparecendo como um defeito de preenchimento ou ainda o preenchimento se assemelhar a um pino de golfe, denominado “golf tee sing” (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

No padrão intramedular, ocorre abaulamento do parênquima medular que ocupa o espaço subaracnóide, ocasionando afinamento/atenuação no preenchimento das colunas de contraste, ou ainda falha de preenchimento, sem evidência de desvios, podendo ser evidenciado abaulamento nas colunas de contraste. Edema medular extensivo com visibilização de infiltração do contraste no interior do parênquima medular pode ser encontrado em casos de mielomalácia (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

A mielografia é uma técnica invasiva e é associada à alguns riscos inerentes ao procedimento. O agravamento dos sinais clínicos, apneia durante a administração do contraste, a ocorrência de convulsões durante a recuperação anestésica e lesões iatrogênicas ao parênquima medular são algumas das complicações possíveis (MUHLBAUER; KNELLER, 2023).

Manter uma leve elevação da cabeça do paciente durante e após o procedimento (até que o paciente esteja acordado) e garantir a hidratação com fluidos intravenosos durante e nas 24 horas seguintes à mielografia são recomendações para limitar a ocorrência e a gravidade da atividade convulsiva pós-mielografia (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016). A realização do exame por equipe qualificada e capacitada e a correta indicação da necessidade do exame, possivelmente diminuem a probabilidade de intercorrências.

1.2.4 Fluoroscopia

A utilização da fluoroscopia na neuroimagem da coluna vertebral é documentada como ferramenta de auxílio em procedimentos para punção lombar (WIESCHHOFF *et al.*, 2021) e de procedimentos cirúrgicos em vértebras (BITTERLI *et al.*, 2021; GOFFART *et al.*, 2022; DEVECI; LEWIS; LEDERER, 2023), afim de evitar lesões iatrogênicas, principalmente a estruturas nervosas e vasculares.

Não se tem conhecimento, por parte dos autores dessa tese, sobre a existência de estudos que avaliem a eficácia da fluoroscopia no diagnóstico de lesões medulares ou vertebrais. Um estudo descreve que imagens fluoroscópicas obtidas durante a injeção do contraste poderia permitir a localização da lesão compressiva (KIRBERGER; ROOS; LUBBE, 1992), no entanto, os respectivos autores não realizaram avaliação dessa modalidade de imagem.

Há vários estudos recentes que demonstraram a maior segurança cirúrgica com o uso da fluoroscopia como guia na colocação de implantes vertebrais (WHEELER; CROSS; RAPOFF, 2002; WHEELER *et al.*, 2007; BITTERLI *et al.*, 2021; GOFFART *et al.*, 2022), no entanto, ainda não é um equipamento comumente disponível na medicina veterinária. Além disso, a segurança radiológica é uma preocupação com o uso de imagens fluoroscópicas.

Um estudo indicou que, sem proteção, os cirurgiões poderiam realizar 50 procedimentos (com cinco minutos de fluoroscopia em funcionamento por procedimento) antes de atingir as doses anuais recomendadas para todo o corpo. Foi recomendado que a equipe deveria permanecer a 0,6 m de distância e nunca entrar em contato direto com o feixe primário do fluoroscópio (MEHLMAN; DIPASQUALE, 1997). Outro estudo também relatou doses de radiação mais altas associadas a procedimentos cirúrgicos na coluna vertebral em comparação com procedimentos cirúrgicos em membros (RAMPERSAUD *et al.*, 2000). Especialmente em cirurgias na coluna vertebral, a fluoroscopia ativa pode ser necessária por um período mais longo para ajustar a posição da imagem sobre cada implante com pinos bicorticais bilaterais e com diferentes ângulos de inserção (WHEELER; CROSS; RAPOFF, 2002; GOFFART *et al.*, 2022).

Todos os estudos recomendaram minimizar a exposição à radiação utilizando itens de radioproteção, como aventais de chumbo, protetores de tireoide, óculos e luvas atenuadoras de radiação (MEHLMAN; DIPASQUALE, 1997; RAMPERSAUD *et al.*, 2000; MEISINGER *et al.*, 2016; WHEELER; CROSS; RAPOFF, 2002; GOFFART *et al.*, 2022).

1.2.5 Tomografia computadorizada

Na tomografia computadorizada, raios-X e computadores são utilizados para fornecer imagens transversais do paciente. As imagens finais consistem em muitos pequenos quadrados de imagem chamados pixels. A espessura desses quadrados de imagem (vóxel) é determinada pela espessura de imagem escolhida na técnica de aquisição. À medida que o feixe de raios-X atravessa o objeto, ele é atenuado em diferentes graus pelos tecidos em seu caminho, é captado pelo detector, e as informações são inseridas no computador. A imagem resultante reflete os diferentes números de tons de cinza de diferentes tipos de tecidos (unidades de Hounsfield) e, portanto, respectivas capacidades de atenuar raios-X. Com o software de computador apropriado, os vóxels de tecido podem ser combinados para produzir imagem tridimensional (reconstrução 3D) ou para gerar imagens em outros planos (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; MAI, 2018).

A gordura epidural é hipoatenuante em relação às estruturas de partes moles do canal vertebral. A combinação de medula espinhal, vasos sanguíneos, espaço subaracnóide com líquido e meninges forma, em imagens transversais, estrutura de atenuação de partes moles, redonda a oval, no meio do canal vertebral, cercada por borda hipoatenuante de gordura epidural (MAI, 2018). A medula espinhal normal é mais facilmente individualizada sobre a região dos discos intervertebrais, sendo mais desafiadora a sua identificação sobre os corpos vertebrais devido ao menor conteúdo de gordura epidural (NELSON, 2023). O aspecto dorsal do ânulo do disco intervertebral e do ligamento longitudinal dorsal e do aspecto ventral do ânulo e do ligamento longitudinal ventral são observadas como estruturas elípticas de atenuação de partes moles (MAI, 2018).

Apesar de um bom contraste de tecidos moles, a imagem tomográfica sem contraste não pode distinguir a medula espinhal como separada do líquido cefalorraquidiano circundante ou das meninges. Quando combinada com contraste (mielotomografia), possibilita um melhor diagnóstico pela visualização direta da medula espinhal (NELSON, 2023). O saco tecal fica hiperatenuante, permitindo a diferenciação mais precisa entre doenças intramedulares, intradurais e extradurais. A mielotomografia pode ser realizada por injeção de meio de contraste iodado no espaço subaracnóide, em 25% da dose utilizada em exames de mielografia (MAI, 2018).

A tomografia é o método de imagem preferido em pacientes com trauma vertebral e presença de material metálico, ou no diagnóstico de subluxações ou fraturas vertebrais sutis (MAI, 2018). É o exame de imagem padrão ouro para a avaliação de trauma na coluna em humanos e deve ser usada sempre que possível na avaliação de cães e gatos com trauma na coluna. Quando sem contraste, pode ser realizada com o paciente apenas sob sedação, pois é uma modalidade de imagem considerada rápida (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

A tomografia computadorizada está se tornando cada vez mais disponível na medicina veterinária. No entanto, essa ainda não é realidade em muitos centros diagnósticos, além de ser considerado um exame de custo elevado no Brasil, quando comparado aos exames radiográficos.

1.2.6 Ressonância magnética

A ressonância magnética pode ser usada no diagnóstico de praticamente todas as doenças da medula (MAI, 2018), sendo considerada o padrão-ouro para a imagem da medula espinhal e tecidos moles paravertebrais. Ao separar o sinal do líquido cefalorraquidiano, tecido neural e gordura epidural, a patologia da coluna é diretamente visualizada sem a necessidade de agente de contraste intratecal (NELSON, 2023).

São realizadas aquisições de imagem nos diferentes planos (sagital, dorsal e/ou axial), espessuras de corte e sequências de imagem (como, por exemplo, ponderadas em T1 e T2, supressão do sinal de gordura – STIR, recuperação da inversão atenuada de fluidos – FLAIR, gradiente eco – GRE e saturação de gordura) que são escolhidas de acordo com as características específicas das lesões a serem avaliadas (HECHT; DA COSTA, 2016).

Os protocolos típicos de ressonância magnética incluem imagens ponderadas em T2 e T1, antes e depois da administração intravenosa de contraste, quando necessário (NELSON, 2023). Nas imagens ponderadas em T1, fluidos, como líquido ou edema, aparecerão hipointensos, ou seja, escuros, e nas ponderadas em T2, serão hiperintensos, ou seja, brilhantes. Sequências especiais, como imagem por tensor de difusão e angiografia, estão começando a ser utilizadas e podem se tornar rotineiras no futuro (HECHT; DA COSTA, 2016).

Nas imagens ponderadas em T1, a gordura epidural e paraespinhal são hiperintensas à medula espinhal, enquanto os discos intervertebrais apresentam intensidade média de sinal. A medula espinhal, as raízes nervosas e a medula óssea são isointensas ou levemente hipointensas em relação aos discos intervertebrais. O sinal do líquido mal se distingue da medula espinhal e a borda hipointensa ao redor da medula e do líquido representa a combinação de artefato (*chemical shift*) e estruturas meníngeas (MAI, 2018).

Nas imagens ponderadas em T2, os discos intervertebrais normais apresentam alto sinal devido ao grande teor de água no núcleo pulposo e na porção interna do ânulo fibroso. A gordura epidural e paraespinhal ainda são hiperintensas e a medula espinhal e as raízes nervosas são hipointensas. A medula óssea é isointensa ou hipointensa à medula espinhal. Dependendo de quão ponderada em T2 está a imagem, o líquido presente no espaço subaracnoide pode formar delgada

cápsula hiperintensa ao redor da medula. Sequências com intensa ponderação em T2, como *single-shot fast spin echo* (SSFSE), aumentam o sinal do líquido e suprimem o sinal do tecido de fundo, conferindo efeito mielográfico natural (MAI, 2018).

Como a ressonância magnética é extremamente sensível a artefatos de movimento decorrentes da respiração e do fluxo sanguíneo, bandas de saturação podem ser colocadas sobre o abdômen e o tórax para suprimir os efeitos do movimento dessas áreas durante a varredura. Essas bandas ajudam a minimizar artefatos de movimento, garantindo imagens mais nítidas e precisas (HECHT; DA COSTA, 2016).

O contraste intravenoso (gadolínio-di-etilenotriaminopentaacetato) não é necessário para todos os exames da coluna, especialmente aqueles em que a extrusão do disco intervertebral é o diagnóstico clínico mais provável com base na apresentação e histórico (HECHT; DA COSTA, 2016; NELSON 2023). É indicado na identificação de lesões vasculares, especialmente àquelas relacionadas a neoplasias; nas lesões inflamatórias, de origem infecciosa ou não, que não estejam relacionadas a hérnias de disco intervertebral; e nas malformações vasculares (HECHT; DA COSTA, 2016). A não administração de contraste intravenoso economiza tempo e despesas se o diagnóstico for feito nas imagens pré-contraste (NELSON, 2023).

As desvantagens da ressonância magnética incluem o tempo de aquisição mais longo, a necessidade de anestesia e o maior custo do exame (HECHT; DA COSTA, 2016; NELSON, 2023), além da menor disponibilidade do equipamento em centros diagnósticos na medicina veterinária.

1.3 ESTUDOS COMPARATIVOS DE NEUROIMAGEM DA COLUNA VERTEBRAL

As radiografias são amplamente disponíveis na medicina veterinária e são sempre recomendadas antes de prosseguir, quando necessário, para imagens avançadas, pois a área de interesse pode ser mais especificamente localizada, reduzindo o tempo de varredura em imagens avançadas. (HECHT; DA COSTA, 2016).

Dentre os exames de imagem com maior sensibilidade diagnóstica utilizados na neurologia veterinária, destacam-se a tomografia computadorizada (com melhor capacidade para avaliação das estruturas ósseas) e a ressonância magnética (com melhor capacidade para avaliação dos tecidos moles) (HECHT *et al.*, 2009; DENNISON *et al.*, 2010; HETTLICH *et al.*, 2010; NEWCOMB *et al.*, 2011; ROBERTSON; THRALL, 2011; BOS *et al.*, 2012; REYNOLDS; BRISSON; NYKAMP, 2013; RODACKI *et al.*, 2014; DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; DA COSTA *et al.*, 2020; OLBY *et al.*, 2022).

A sensibilidade diagnóstica geral da ressonância magnética é superior à tomografia e pode ser usada para o diagnóstico da grande maioria dos distúrbios da coluna (HECHT; DA COSTA, 2016). Em algumas exceções é preferível o uso da tomografia computadorizada, como por exemplo, pacientes com presença de material metálico vertebral ou trauma causados por projéteis, no diagnóstico de subluxações vertebrais ou fraturas sutis (MAI, 2018).

A tomografia computadorizada possui vantagens sobre a ressonância magnética por ser mais acessível, mais barata e mais rápida (NELSON, 2023).

Idealmente, a ressonância magnética e a tomografia computadorizada devem ser consideradas modalidades complementares de imagem por permitirem a visualização de diferentes estruturas (HECHT; DA COSTA, 2016).

1.3.1 Neuroimagem nas fraturas e luxações vertebrais

As fraturas e/ou luxações da coluna vertebral são lesões típicas de traumas de alto impacto e são consideradas afecções graves, devido ao elevado risco de danos medulares permanentes (HETTLICH, 2017; WEH; KRAUS, 2018). Correspondem a cerca de 10% das apresentações neurológicas de cães e gatos (FLUEHMANN; DOHERR; JAGGY, 2006; SIMPSON; SYRING; OTTO, 2009 CHAVES *et al.*, 2014). Qualquer fratura tem o potencial de causar o estreitamento do canal vertebral e promover contusão e/ou compressão da medula espinhal (WEH; KRAUS, 2018; WIDMER; THRALL, 2018; NELSON, 2023), além de danos secundários ao trauma (OLBY, 2010).

A abordagem dos três compartimentos é utilizada para avaliar a gravidade e instabilidade das fraturas vertebrais e luxações. A vértebra é dividida em três áreas:

dorsal, média e ventral. O compartimento dorsal é composto pelos processos articulares, lâminas, pedículos, processos espinhosos e estruturas de suporte dos tecidos moles. O compartimento médio inclui o ligamento longitudinal dorsal, a porção dorsal do anel fibroso do disco intervertebral e a parte dorsal do corpo vertebral. O compartimento ventral contém o restante do corpo vertebral, o anel fibroso lateral e ventral, o núcleo pulposo e o ligamento longitudinal ventral. Se dois ou mais compartimentos estiverem envolvidos, a fratura luxação é provavelmente, instável e requer estabilização (SHORES, 1992; KINNS *et al.*, 2006; JEFFREY, 2010; DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; WEH; KRAUS, 2018; WIDMER; THRALL, 2018).

Para o diagnóstico das fraturas, luxações e subluxações vertebrais, são realizados exames de imagem com foco na localização neuroanatômica da lesão, sendo também indicado aquisição de imagens adicionais da coluna vertebral para exclusão de múltiplas lesões (WEH; KRAUS, 2018).

Devem inicialmente realizar radiografias laterais, seguidas por projeções ventrodorsais, quando confirmado que não há instabilidade ou fratura evidente na coluna. No caso de haver instabilidade da coluna e as projeções ortogonais forem necessárias, consideram-se projeções horizontais com feixe cruzado, uma vez que o paciente não precisa ser virado para a posição dorsal (JEFFREY, 2010; TRHALL; WIDMER, 2018; NELSON, 2023).

As radiografias podem ter alterações óbvias, como assimetrias ou fragmentações ósseas, além de deslocamento de uma vértebra em relação à adjacente (WIDMER; THRALL, 2018; NELSON, 2023). Fissuras causam uma lucidez linear fina dentro das vértebras, mas não são deslocadas e, portanto, são difíceis de reconhecer radiograficamente. Da mesma forma, a luxação vertebral pode causar deslocamento evidente de um segmento vertebral em comparação com o próximo, mas a subluxação pode causar deslocamento sutil ou intermitente que não é reconhecido radiograficamente (NELSON, 2023).

As vértebras têm forma complexa e a sobreposição de estruturas podem complicar a interpretação radiográfica. Até mesmo uma leve rotação axial nas radiografias da coluna complica ou impede o reconhecimento de fraturas ou subluxações sutis (NELSON, 2023). Além disso, é importante reconhecer que a radiografia é uma imagem estática de uma condição dinâmica. A ausência de

deslocamento no momento do exame não exclui a possibilidade de ter havido deslocamento grave no momento do trauma (WEH; KRAUS, 2018).

Em um estudo retrospectivo de cães com trauma vertebral, a radiografia foi capaz de detectar fraturas na coluna em 82% dos casos. Porém, essa sensibilidade foi considerada moderada quando foi avaliada a capacidade radiográfica de detectar todas as fraturas vertebrais de cada paciente (72%) e também na detecção de subluxações (77,5%). Quando da capacidade de detectar fragmentos no interior do canal vertebral, a sensibilidade foi ainda mais baixa (57,5%) (KINNS *et al.*, 2006).

A mielografia não é recomendada, devido à possibilidade de causar deterioração transitória nos sinais neurológicos, secundária à mielite química, e por lesões adicionais durante os posicionamentos, além de raramente trazerem informações adicionais úteis (SANDE, 1992; JEFFERY, 2010)

A tomografia computadorizada é superior à radiografia para a identificação e caracterização de fraturas vertebrais e pode detectar fraturas que não foram detectadas radiograficamente, sendo atualmente considerada o padrão ouro de diagnóstico por imagem para detecção das alterações ósseas, como fraturas e luxações (KINNS *et al.*, 2006; HETTLICH *et al.*, 2010; JEFFREY, 2010; DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; WEH; KRAUS, 2018; WIDMER; THRALL, 2018; GALLASTEGUI *et al.*, 2019). É considerada necessária para o planejamento cirúrgico de estabilização da coluna vertebral (WATINE *et al.*, 2006; DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; HETTLICH, 2017; WEH; KRAUS, 2018; NELSON, 2023).

LETESSON *et al.* (2022) utilizaram a ressonância magnética como método de imagem pré-operatório para o planejamento da profundidade de perfuração do implante no corpo vertebral. Esta técnica confirmou as alterações ósseas observadas cirurgicamente na maioria dos casos. Embora estas fossem frequentemente visíveis também em radiografias, a ressonância magnética revelou várias fraturas adicionais não detectadas radiograficamente, todas localizadas no compartimento dorsal.

A ressonância magnética é o exame mais adequado para avaliação dos danos no parênquima da medula espinhal e em tecidos moles adjacentes (HECHT; DA COSTA, 2016; HETTLICH, 2017; WEH e KRAUS, 2018; NELSON, 2023). Pode ser capaz de detectar a presença de vértebras fraturadas auxiliada por alterações nos tecidos moles associados, como ligamentos rompidos ou mudanças nos

músculos epaxiais (MAI, 2018). No entanto, não é capaz de substituir a avaliação tomográfica em cães com traumas vertebrais (GALLASTEGUI *et al.*, 2019).

Em razão das características complementares de imagem, o método mais sensível para avaliação de lesões na coluna vertebral é provavelmente a combinação entre os exames de ressonância magnética e a tomografia computadorizada (WEH; KRAUS, 2018).

O planejamento cirúrgico com imagens deve ser realizado para melhor identificação da extensão da lesão e das estruturas anatômicas adjacentes à lesão e identificação das referências anatômicas de cada vértebra e variações estruturais de cada paciente (HETTLICH, 2017). WATINE *et al.* (2006) realizaram estudo utilizando a tomografia computadorizada da coluna de cães e definiu corredores seguros nas vértebras para a colocação de implantes (pinos ou parafusos), com pontos anatômicos, angulação e largura de perfuração, além de proximidade de estruturas vitais adjacentes. Estes dados são utilizados como referência por diversos cirurgiões.

As complicações inerentes associadas aos procedimentos de estabilização vertebral incluem a penetração do implante no canal vertebral, com a possibilidade de lesão iatrogênica às estruturas vasculares e neurais locais (WATINE *et al.*, 2006; BRUCE; BRISSON; GYSELINCK, 2008; HETTLICH *et al.*, 2010; JEFFERY, 2010). HETTLICH *et al.* (2010) demonstraram baixa precisão para radiografias ortogonais (sensibilidade: 50,7%; especificidade: 82,9%) e precisão muito boa a excelente para tomografia computadorizada (sensibilidade: 93,4%; especificidade: 86,4%) para determinar a violação do canal vertebral por implantes. No entanto, nem mesmo a tomografia fornece um método perfeito na detecção de violação parcial do canal vertebral (HETTLICH *et al.*, 2010). Artefatos metálicos podem prejudicar a avaliação precisa da posição do implante dentro de uma vértebra (MAI, 2018; NELSON, 2023).

A fluoroscopia é considerada um método acurado para a identificação da violação do canal vertebral e é indicada quando a tomografia computadorizada não está disponível (GOFFART *et al.*, 2022). É utilizada para orientação transoperatória na introdução de pinos para estabilização da coluna vertebral em cirurgias minimamente invasivas, demonstrando bons resultados (BITTERLI *et al.*, 2022) e pode ser preferível à abordagem aberta de inserção livre (ou seja, sem guias de perfuração), dada a precisão superior de perfuração e menores taxas de

complicações (WHEELER; CROSS; RAPOFF, 2002). No entanto, estudos recentes têm demonstrado resultados satisfatórios com planejamento tomográfico e a técnica livre de perfuração (SAMER *et al.*, 2021; MULLINS *et al.*, 2023).

Em humanos, a fixação de parafusos pediculares na coluna toracolombar usando a técnica cirúrgica de inserção livre, com base apenas na anatomia externa e marcos anatômicos, pode ser realizada com segurança e precisão aceitáveis, evitando a exposição cumulativa à radiação e o tempo operatório prolongado, quando comparado à implantação com auxílio da fluoroscopia (VIJAYESWARAN *et al.*, 2019).

Guias 3D paciente-específicos tem sido estudados para melhorar a precisão de perfuração das vértebras, demonstrando bons resultados. São elaborados a partir da tomografia computadorizada de cada vértebra do indivíduo. (FUJIOKA *et al.*, 2020; GUEVARA *et al.*, 2023; MULLINS *et al.*, 2023).

Várias técnicas assertivas estão surgindo para colocação de parafusos pediculares com mais precisão, com o auxílio de métodos de imagens avançados, porém, isso ocorre à custa de maior disponibilidade de equipamentos, maior exposição à radiação, duração cirúrgica prolongada e custos adicionais.

1.3.2 Neuroimagem na doença do disco intervertebral

A doença do disco intervertebral (DDIV) é a principal causa de paralisia em cães (ROSSI *et al.*, 2020) e corresponde a cerca de 45,8% dos casos atendidos pelo Serviço de Neurologia na região central do Rio Grande do Sul (CHAVES *et al.*, 2014).

Hansen classificou a DDIV como extrusão de disco intervertebral (EDIV) – Hansen tipo I, e protrusão de disco intervertebral – Hansen tipo II (4). Atualmente, principalmente com a maior disponibilidade da ressonância magnética (RM), novas formas de DDIV começaram a ser reconhecidas, como extrusão aguda e não compressiva de núcleo pulposo, extrusão de núcleo pulposo hidratado e extrusão de disco intervertebral intradural/intramedular (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016; DA COSTA *et al.*, 2020).

O diagnóstico de EDIV em cães é feito em diferentes modalidades de imagem, que diferem em termos de precisão diagnóstica, custo, disponibilidade e

efeitos adversos. As imagens também são utilizadas para o planejamento cirúrgico, sendo essencial a localização precisa da compressão para a remoção eficaz do material discal (BOS *et al.*, 2007; OLBY *et al.*, 2022).

O exame radiográfico simples é realizado para exclusão de outras condições, como fratura, luxação ou lesões ósseas agressivas. Os achados das radiografias convencionais de cães com DDIV incluem: diminuição do espaço intervertebral, diminuição das interlinhas radiográficas dos processos articulares intervertebrais, forame intervertebral pequeno e com aumento da radiopacidade e material de disco mineralizado no interior do canal vertebral (WIDMER; THRALL, 2018).

Um estudo encontrou alta sensibilidade das radiografias simples digitais na detecção de extrusões agudas de disco toracolombar (HECHT *et al.*, 2009). Outro, encontrou precisão dos observadores de cerca de 51 a 61% para determinar locais de protrusão usando a radiografia convencional (LAMB *et al.*, 2002). No entanto, é importante salientar que os achados radiográficos podem ser sugestivos, mas nunca diagnósticos, para extrusão de disco intervertebral (HECHT *et al.*, 2009; DA COSTA *et al.*, 2020).

A sensibilidade da mielografia nas projeções convencionais (lateral, oblíquas direita e esquerda e ventrodorsal) para localização da compressão medular de cães com EDIV relatada na literatura varia de 74% a 99% (TANAKA; NAKAYAMA; TAKASE, 2004; GIBBONS *et al.*, 2006; ISRAEL *et al.*, 2009; NEWCOMB *et al.*, 2012). As projeções oblíquas fornecem informações relevantes, principalmente quanto a lateralização da lesão compressiva, contribuindo com as outras projeções radiográficas para localizar a compressão medular (KIRBERGER; ROOS; LUBBE, 1992; TANAKA; NAKAYAMA; TAKASE, 2004; GIBBONS *et al.*, 2006; ZARDO *et al.*, 2010; CHAVES *et al.*, 2017; SCHWAB *et al.*, 2020).

As características da tomografia computadorizada de extrusão aguda do disco intervertebral incluem material hiperdenso dentro do canal vertebral, perda de gordura epidural e distorção da medula espinhal. As extrusões crônicas do disco parecem ser ainda mais hiperatenuantes, possivelmente devido à mineralização progressiva (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016). A distinção de disco mineralizado extruído agudo de crônico pode ser limitada com a ressonância magnética (SURAN *et al.*, 2011; OLBY *et al.*, 2022). Na tomografia, é difícil distinguir

entre hemorragia e material de disco extruído, pois o sangue muitas vezes está misturado ao disco (DEWEY; DA COSTA; DUCOTÉ, 2016).

A mielografia e tomografia computadorizada têm boa concordância com os achados cirúrgicos ao avaliar cães condrodistróficos com extrusão aguda de disco intervertebral (HETCH *et al.*, 2009). A tomografia computadorizada é mais sensível e tem sensibilidade diagnóstica de 81 a 100% em cães condrodistróficos com discos mineralizados (HETCH *et al.*, 2009; DENISSON *et al.*, 2010; PARRY *et al.*, 2010; NEWCOMB *et al.*, 2011; OLBY *et al.*, 2022), porém a mielografia pode ser preferível em cães mais leves que 5 kg (ISRAEL *et al.*, 2009).

A mielotomografia tem maior sensibilidade para identificação de compressão quando comparados com a mielografia e a tomografia convencional, principalmente em cães condrodistróficos com edema concomitante da medula espinhal, extrusões de disco cervicais de baixo volume e em cães não condrodistróficos com extrusões de disco pouco ou não mineralizadas (DENISSON *et al.*, 2010).

A ressonância magnética é o método pré-cirúrgico de escolha na DDIV, por ser não invasivo e fornecer maior detalhamento anatômico, bem como possíveis indicadores prognósticos (por exemplo, na mielomalacia). O diagnóstico é feito quando os alguns destes sinais são observados, como visibilização direta da extensão da compressão extradural da medula espinhal, com perda do sinal da gordura epidural e alterações no formato da medula e do disco intervertebral afetado; hiperintensidade intramedular focal em T2; diminuição do volume e intensidade do sinal do núcleo pulposo do disco em T2; detecção de hemorragia epidural e inflamação (MAI, 2018).

A administração de contraste no espaço subaracnoide não é necessária com a ressonância magnética devido à capacidade de alterar o contraste tecidual aplicando diferentes sequências de aquisição (HECHT; DA COSTA, 2016).

Em um estudo comparando mielografia e ressonância magnética, a precisão da ressonância para localização e lado da compressão foi de 100% quando os resultados das sequências ponderadas em T1, ponderadas em T2 e ponderadas em T1 com contraste foram combinados. Já a precisão da mielografia, foi de 90,9% e 54,5% para localização e lado, respectivamente (BOS *et al.*, 2012). No entanto, as mielografias foram realizadas apenas com projeções ortogonais lateral e ventrodorsal. O mesmo ocorre com outro estudo onde foram comparadas imagens

mielográficas em apenas duas projeções (ventrodorsal e lateral) e imagens de RM, diminuindo a sensibilidade principalmente na identificação da lateralização da lesão dos exames mielográficos (REYNOLDS; BRISSON; NYKAMP, 2013), se comparados com estudos que avaliaram projeções oblíquas.

PARRY *et al.* (2010) relataram que, embora a RM possa ser mais vantajosa que a mielografia por se tratar de método não invasivo e fornecer detalhes anatômicos superiores para o planejamento cirúrgico, não foram observados efeitos benéficos sobre o desfecho da maioria dos cães com paralisia por lesão medular toracolombar aguda frente àqueles que realizaram o exame mielográfico.

O valor diagnóstico e prognóstico da ressonância magnética é incomparavelmente maior à mielografia e tomografia computadorizada. Com o aumento da disponibilidade de equipamentos de ressonância magnética, aumentam as taxas de sucesso diagnóstico e terapêutico, além de aumentar a incidência de terapias cirúrgicas. Apesar do alto potencial, ela permanece menos acessível na prática clínica de animais de companhia (FUCHS *et al.*, 2023).

1.4 REALIDADE ATUAL DA NEUROIMAGEM NA MEDICINA VETERINÁRIA

FUCHS *et al.* (2023) realizaram um interessante estudo, onde compararam a utilização dos métodos de imagem (radiografia, mielografia e ressonância magnética) em cães com doenças da medula espinhal em três diferentes períodos de tempo entre 2005 e 2022. Encontraram que, durante o terceiro período avaliado, a frequência do uso de ressonância magnética aumentou significativamente em mais de 30% em comparação com o segundo. O uso de radiografias como a única ferramenta de imagem diagnóstica diminuiu significativamente em 39% no terceiro período em comparação com o primeiro. No primeiro e segundo períodos, a mielografia foi realizada três a quatro vezes mais frequentemente do que a ressonância magnética. Posteriormente, no terceiro período, a ressonância foi usada duas vezes mais do que a mielografia.

Em uma pesquisa realizada nos Estados Unidos e Canadá, a modalidade de imagem mais utilizada para diagnóstico de EDIV por neurologistas certificados foi ressonância magnética, e para os cirurgiões certificados foi tomografia computadorizada (com ou sem contraste) (MOORE; EARLY; HETTLICH, 2016).

A crescente disponibilidade dos métodos avançados de diagnóstico por imagem resultou em melhores condições para os médicos veterinários em termos de diagnóstico e terapia de muitos casos neurológicos (FUCHS *et al.*, 2023). Isso é demonstrado também na crescente utilização e interesse nas pesquisas desses métodos ao longo dos anos.

Não se discute que a ressonância magnética e a tomografia computadorizada são os métodos mais indicados para o diagnóstico das doenças neurológicas da coluna vertebral. Muito menos, questionam-se os importantes avanços na pesquisa relacionados à essas técnicas, além de várias outras novas modalidades diagnósticas que estão surgindo. Acreditamos que os avanços na pesquisa devem ocorrer para, cada vez mais, termos maior excelência no diagnóstico e tratamento das afecções neurológicas. No entanto, a realidade atual na medicina veterinária é que grande parte dos pacientes ainda não foram contemplados com esses avanços tecnológicos. Isso fica evidente quando se avalia diversos estudos recentes onde as técnicas avançadas de imagem não foram utilizadas, conforme demonstraremos a seguir.

CHAVES *et al.* (2017), CRAWFORD; DE DECKER (2017), RIPPLINGER *et al.* (2023) fizeram estudos retrospectivos de cães com DDIV que realizaram tratamento cirúrgico, cujo o diagnóstico foi realizado predominantemente por mielografia. SANTORO; ARIAS (2018) estudaram sobre complicações em cães e gatos com doenças neurológicas, dos quais alguns diagnósticos foram obtidos por meio da mielografia.

ROS *et al.* (2017), BING; CARNEIRO; FERREIRA (2019), DA COSTA *et al.* (2020), OLBY *et al.* (2022) descrevem que a mielografia continua a ser útil para avaliar a doença do disco intervertebral quando as imagens de tomografia computadorizada ou por ressonância magnética não estão disponíveis. BOS *et al.* (2012), mesmo tendo acesso à exames de ressonância magnética, precisaram realizar exames de mielografia em caráter de emergência em cães com EDIV, por não ter disponibilidade do equipamento de ressonância magnética 24 horas por dia.

Segundo FUCHS *et al.* (2023), a radiografia ainda é o método mais comumente utilizado no diagnóstico de doenças neurológicas da coluna, devido à sua ampla disponibilidade. Ainda, segundo os autores, a mielografia continuará a ser utilizada no diagnóstico de lesões compressivas, por ser o único método de

diagnóstico em muitos locais. MOORE; EARLY; HETTLICH (2016) relatam que a mielografia ainda é uma modalidade utilizada no diagnóstico de EDIV por cirurgiões e neurologistas certificados.

AIKAWA *et al.* (2007), WHEELER *et al.* (2007), VALLEFUOCO *et al.* (2014), ARAUJO *et al.* (2017), BITTERLI *et al.* (2022), AIKAWA *et al.* (2023), YAYLA *et al.* (2023) realizaram cirurgias de implantação de pinos ou parafusos em corpos vertebrais de cães sem o planejamento cirúrgico prévio por imagens de tomografia computadorizada. CATERINO *et al.* (2022) fizeram uma revisão sistemática de estudos da literatura sobre fraturas de L7, sendo que o método de imagem mais comumente utilizado foi a radiografia, poucos fizeram uso da tomografia computadorizada e nenhum utilizou a ressonância magnética.

LETESSON *et al.* (2022) utilizaram a ressonância magnética para o planejamento cirúrgico de estabilização vertebral por indisponibilidade de equipamento de tomografia computadorizada.

WHEELER *et al.* (2007), GOFFART *et al.* (2022) utilizaram a fluoroscopia para determinar a posição dos pinos na coluna de cães, indicando esta modalidade quando a tomografia computadorizada não está disponível.

A maioria dos autores supracitados relatam em suas pesquisas a recomendação e importância de exames de imagem avançados nas doenças neurológicas da coluna vertebral. Mesmo assim, sabe-se que ainda existe a dificuldade na realização desses exames na medicina veterinária, seja por indisponibilidade de equipamentos ou por inviabilidade financeira dos tutores dos pacientes. Soma-se a isso, a importância na maior agilidade do tratamento cirúrgico para uma recuperação neurológica satisfatória.

Considerando a grande casuística de EDIV em cães e a dificuldade em diagnosticar o local da compressão em pacientes com edema extenso da medula espinhal; e a importância das fraturas e/ou luxações da coluna vertebral na gravidade das lesões neurológicas; associado à necessidade de agilidade quando há indicação de tratamento cirúrgico dessas afecções, com um planejamento cirúrgico adequado. Considerando a realidade atual da neuroimagem na medicina veterinária. O objetivo desta tese foi propor alternativas com o uso de radiografia digital para melhorar a acurácia do diagnóstico de cães com EDIV, principalmente àqueles com edema extenso da medula espinhal, e auxiliar no planejamento de

cirurgias de estabilização da coluna vertebral lombar de cães para a inserção de pinos e/ou parafusos, possibilitando, assim, a chance de tratamento com maior auxílio diagnóstico de pacientes que não tem acesso a exames avançados de imagem.

2 ARTIGO 1

Mensurações radiográficas para definição da profundidade de inserção de pinos em vértebras lombares de cadáveres caninos por meio de modelos matemáticos

Raquel Baumhardt, Alexandre Mazzanti

Artigo submetido para publicação na Ciência Rural.

**Mensurações radiográficas para definição da profundidade de inserção de pinos em
vértebras lombares de cadáveres caninos por meio de modelos matemáticos**

**Radiographic measurements to define the length of pin insertion in lumbar
vertebrae of canine cadavers through mathematical models**

Raquel Baumhardt¹, Alexandre Mazzanti^{2*}

RESUMO

O objetivo desse estudo foi propor mensurações radiográficas dos corpos de vértebras lombares (L1 a L6) de cadáveres caninos, que sejam capazes de prever, por meio de modelos matemáticos de Regressão Linear Múltipla (RLM), a profundidade de inserção de pinos bicorticais nos corpos vertebrais de cães. Foram selecionadas 11 peças anatômicas da coluna lombar (L1 a L6) de cadáveres caninos e realizadas mensurações radiográficas no quarto cranial do corpo vertebral, largura (LQCr) e altura (AQCr) e altura da epífise cranial (AECr). As análises tomográficas foram utilizadas para determinar as profundidades de inserção do implante no quarto cranial do corpo vertebral no ponto médio entre o pedículo e o processo transversal, em ângulos de 50°, 55° e 60°. Foram criados sete modelos RLM, ou seja, seis modelos individuais para as vértebras L1 a L6 e um modelo geral para a coluna lombar L1-L6. Os valores de R^2 ajustado para os modelos individuais variaram de 0,935 a 0,978, e erro quadrático médio (REMQ) 0,503 a 0,885 mm. O modelo geral apresentou R^2 ajustado de 0,922 e REMQ de 0,991. Todos os modelos de RLM individuais apresentaram resíduos brutos inferiores a 2 mm. Pode-se concluir que as mensurações radiográficas obtidas dos corpos de vértebras lombares (L1 à L6) de cadáveres caninos são capazes de prever, por meio de modelos matemáticos, a profundidade de inserção de pinos bicorticais nos corpos vertebrais

lombares, utilizando como referência para introdução o ponto médio entre o pedículo e o processo transversal em um ângulo de 55° em relação ao plano sagital; com melhores resultados quanto utilizados os modelos RLM individuais.

Palavras chave: Radiografia, tomografia computadorizada, planejamento cirúrgico, implante bicortical, fratura vertebral.

ABSTRACT

The aim of this study was to propose radiographic measurements of the lumbar vertebral bodies (L1 to L6) of canine cadavers, capable of predicting, through a Multiple Linear Regression (MLR) mathematical model, the length of insertion of bicortical pins in the vertebral bodies of dogs. Eleven lumbar spine (L1 to L6) of canine cadavers were selected, and radiographic measurements were performed: at the cranial quarter of the vertebral body, width (LQCr) and height (AQCr), and height of the cranial epiphysis (AECr); and tomographic measurements: length of implant insertion in the cranial quarter of the vertebral body at the midpoint between the pedicle and the transverse process, at angles of 50°, 55°, and 60°. Seven MLR models were created (6 individual models for vertebrae L1 to L6 and one general model for lumbar spine L1-L6). The adjusted R^2 values for the individual models ranged from 0.935 to 0.978, and mean squared error (RMSE) from 0.503 to 0.885 mm. The general model showed an adjusted R^2 of 0.922 and RMSE of 0.991. All individual MLR models showed raw residuals less than 2 mm. The radiographic measurements obtained from the bodies of lumbar vertebrae (L1 to L6) of canine cadavers are capable of predicting, through mathematical models, the depth of insertion of bicortical pins in the lumbar vertebral bodies, using as a reference for introduction the midpoint between the pedicle and the

transverse process at an angle of 55° in relation to the sagittal plane; with better results when using individual RLM models.

Key words: Radiography, computed tomography, surgical planning, bicortical implant, vertebral fracture.

INTRODUÇÃO

A estabilização cirúrgica é indicada para o tratamento de diferentes afecções da coluna vertebral que ocasionam instabilidade vertebral, entre elas, a fratura e/ou luxação vertebral, descompressões múltiplas da medula espinhal, doença da cauda equina, mal formações congênitas, infecções (discoespondilite) e neoplasias (BAGLEY, 2000; AIKAWA et al., 2007; McKEE e DOWNES, 2008; SMOLDERS et al., 2012; ARAUJO et al., 2015; HETTLICH, 2017; WEH e KRAUS, 2018; ELFORD et al., 2020; FUJIOKA et al., 2020; AIKAWA et al., 2023).

Existem diversos métodos de estabilização vertebral descritos na literatura, sendo que a utilização de pinos ou parafusos nos corpos vertebrais, envoltos por cimento ósseo de polimetilmetacrilato, continua sendo uma das técnicas mais realizadas, por ser considerada eficaz e versátil (JEFFREY, 2010; HETTLICH, 2017; WEH e KRAUS, 2018).

Idealmente, o pino deve ser bicortical para garantir o máximo envolvimento ósseo para estabilização (BLASS e SEIM, 1984). A indicação dessa técnica cirúrgica geralmente ocorre para estabilização da coluna lombar e lombossacral, devido ao menor risco de complicações relacionado à proximidade de estruturas vitais ao ponto de saída dos implantes, quando comparado com as quatro últimas vértebras torácicas (WATINE et al., 2006).

Os implantes, ao serem inseridos, devem emergir apenas à curta distância do ponto de saída, mesmo em vértebras lombares e lombossacrais, para evitar a violação do canal vertebral e perfuração excessiva, com a possibilidade de lesão iatrogênica às estruturas

vasculares e neurais (medula espinhal e raízes nervosas) (WATINE et al., 2006; HETTLICH et al., 2010; FUJIOKA et al., 2020).

Como forma de evitar lesões iatrogênicas e determinar a profundidade de inserção e de corredores seguros para introdução de implantes, tem-se recomendado o planejamento cirúrgico com o auxílio da tomografia computadorizada (WATINE et al., 2006; HETTLICH et al., 2010; HETTLICH, 2017; WEH e KRAUS, 2018; NOWAK et al., 2023). Porém, mesmo com a crescente disponibilidade desse recurso de imagem na medicina veterinária, ainda existe limitações, seja por falta de equipamentos ou por restrição financeira dos tutores. Essa realidade é demonstrada em algumas publicações recentes que realizaram procedimentos cirúrgicos de estabilização da coluna vertebral em alguns cães sem o relato de planejamento tomográfico prévio (ARAUJO et al., 2017; BITTERLI et al., 2022; CATERINO et al., 2022; AIKAWA et al., 2023; YAYLA et al., 2023).

Logo, no conhecimento dos autores, não há pesquisas que utilizaram a radiografia digital no planejamento cirúrgico para definição da profundidade de inserção de implantes bicorticais em corpos vertebrais. Sendo assim, o objetivo desse estudo foi propor mensurações radiográficas dos corpos de vértebras lombares (L1 à L6) de cadáveres caninos, que sejam capazes de prever, por meio de modelos matemáticos, a profundidade de inserção de pinos bicorticais nos corpos vertebrais lombares (L1-L6).

MATERIAL E MÉTODOS

Seleção e preparo das peças anatômicas de colunas vertebrais lombares

Foram selecionadas 11 peças anatômicas da coluna lombar (L1-L6) de cadáveres de cães adultos, com raças e pesos variados e motivos do óbito desconhecidos pelos autores, sem histórico de doenças que afetassem a coluna vertebral. A escolha do segmento lombar para a realização desse estudo de mensurações vertebrais foi fundamentada nos achados da pesquisa

realizada por WATINE et al. (2006), que encontraram maior segurança nos corredores de inserção de pinos em vértebras lombares (L1-L6), quando comparadas com vértebras cervicais ou com as quatro últimas vértebras torácicas.

Aquisição das imagens radiográficas e tomográficas

Para as mensurações vertebrais radiográficas (RX), foram obtidas imagens em equipamento de radiografia digital direta (GE Healthcare, Sistema de Raios-X XR 6000), com a técnica radiográfica ajustada para cada peça. Foram obtidas radiografias em projeções laterolateral direita e dorsoventral, com o foco da imagem posicionado no espaço intervertebral L3-L4 e colimação incluindo desde T13 até L7.

Para os posicionamentos serem considerados adequados para as mensurações, foi preconizado que a projeção laterolateral deveria ter os processos transversos direito e esquerdo sobrepostos e a projeção dorsoventral deveria ter os processos espinhosos centralizados nos corpos vertebrais correspondentes. Para a correção da magnificação de imagem, foi posicionado marcador radiográfico esférico de 15 mm de diâmetro adjacente à vértebra L3, ao nível do processo espinhoso (nas projeções laterolaterais) e do processo transversos (nas projeções dorsoventrais).

A tomografia computadorizada é o exame padrão ouro para obtenção do valor de profundidade vertebral para inserção do implante (ou seja, a distâncias entre a cortical óssea referida para inserção do implante até a cortical óssea referida para a saída do implante). Sendo assim, foram obtidas imagens tomográficas volumétricas (TC) das peças anatômicas da coluna lombar com reconstrução axial, por um *scanner* multislice de 64 canais (Toshiba, Aquilion 64), com espessura de corte de 1 mm, em algoritmos de reconstrução para osso e tecidos moles, para mensuração dos valores de profundidade.

Avaliação das imagens RX e TC e mensurações

Foram obtidas mensurações nas imagens de RX e TC no formato DICOM em software para radiologia (Animati PACS) e monitor médico por um médico veterinário radiologista com cinco anos de experiência. Cada mensuração foi obtida duplamente, de forma padronizada, em cada modalidade de imagem, com intervalo de tempo de pelo menos uma semana entre as mensurações.

Uma vez obtido o comprimento de cada corpo vertebral, dividiu-se o valor em quatro partes iguais, sendo escolhida a primeira parte a partir da borda cranial da vértebra (quarto cranial do corpo vertebral) para obtenção das medidas propostas (Figura 1). A preferência por essa região foi devido ao maior estoque ósseo, ao formato de ampulheta do corpo vertebral e pelo posicionamento cranial do pedículo (WHEELER et al., 2002; EVANS e LAHUNTA, 2013).

Foi realizada a correção da magnificação das imagens de RX e obtidas as seguintes mensurações: largura do corpo vertebral no quarto cranial (LQCr), em projeção dorsoventral; altura da epífise cranial (AECr) e altura do corpo vertebral no quarto cranial da vértebra (AQCr), em projeção laterolateral direita, conforme demonstrado na Figura 1A e 1B.

Na TC, as imagens foram avaliadas com janelamento ósseo, utilizando reconstruções multiplanares (Figura 2A–D). Os valores de profundidades de inserção do implante foram obtidos no plano axial em região do quarto cranial das vértebras. A referência para inserção de implante foi o ponto médio entre o pedículo e o processo transversal no aspecto lateral esquerdo da vértebra. Os pontos de saída variaram de acordo com o ângulo utilizado para as mensurações, sendo definido três valores de profundidade em ângulos de 50°, 55° e 60° em relação ao plano sagital (processo espinhoso). O ponto anatômico de inserção do implante e a angulação recomendada já estão estabelecidos na literatura (WATINE et al., 2006;

HETTLICH, 2017; WEH e KRAUS, 2018; NOWAK et al., 2023), o que definiu as escolhas no presente estudo.

Análise estatística

Para análise estatística, optou-se por utilizar as medidas obtidas nas duas avaliações radiográficas e tomográficas como se fossem independentes, sendo considerado, dessa forma, a variação da observação do examinador.

A Regressão Linear Múltipla (RLM) ajusta múltiplas variáveis independentes com o seguinte modelo: $y = \beta_0 + \beta_1x_1 + \beta_2x_2 + \dots + \beta_nx_n$, onde y é o valor predito, β_0 é o intercepto, β_n são os coeficientes da equação e x_n são as variáveis independentes. A RLM foi utilizada para entender como as mensurações radiográficas (variáveis independentes = LQCr, AECr, AQCr) conseguem prever o valor de profundidade na TC (variável dependente = média das profundidades obtidas na TC para os ângulos de 50°, 55° e 60°). A média das profundidades obtidas (entre 50° e 60°) foi considerada devido ao erro associado à inserção livre do implante na vértebra pelo cirurgião (sem utilização de guias de perfuração). Portanto, a modelagem leva em consideração esse erro na predição. Foram construídos sete modelos de RLM, um para cada uma das seis vértebras lombares (de L1 à L6) e um modelo geral para investigar a capacidade preditiva de um único modelo para todas as vértebras lombares.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram selecionadas onze peças anatômicas e realizadas duas avaliações de cada mensuração proposta nas seis vértebras, totalizando 132 vértebras mensuradas em cada uma das modalidades de imagens (22 amostras de cada vértebra, em cada modalidade). Utilizar os valores medidos de forma independente traz para o modelo o erro intrínseco do examinador, o que reforça a chance de gerar modelo matemático adequado.

Na Figura 3A–F, estão demonstrados os seis modelos individuais de RLM para cada vértebra lombar. Os valores preditos significam as profundidades previstas, em milímetros, obtidas a partir das equações matemáticas. Já os valores originais são os valores mensurados nas imagens de tomografia computadorizada, também em milímetros. Nota-se que os valores preditos e os valores originais se afastam à uma curta distância (resíduo bruto), demonstrando o excelente desempenho dos modelos de RLM individuais na predição dos valores de profundidade na TC.

As equações matemáticas de predição dos modelos de RLM e os parâmetros de ajuste podem ser observados na Tabela 1. Os valores de R^2 e R^2 ajustado fornecem medida (em porcentagem) da qualidade do modelo de regressão aos dados. Quanto mais próximos de 1 indicam melhor ajuste do modelo aos dados, sendo o R^2 ajustado a medida mais confiável da qualidade do modelo, devido a penalização da inclusão de possíveis variáveis independentes desnecessárias. Todos os modelos individuais apresentaram excelentes valores de R^2 ajustado. O melhor modelo foi para vértebra L6, com valor de R^2 ajustado 0,978 (ou seja, 97,8% da variabilidade da profundidade na TC é explicada pelas medidas radiográficas utilizadas no modelo).

Enquanto os resíduos brutos são os erros de previsão do modelo, a Raiz do Erro Quadrático Médio (REMQ) é a medida da precisão média desses erros. Em um cenário ideal, quanto mais próximo de zero, indica erro de predição pequeno em magnitude. Nos modelos de RLM individuais, o REMQ variou de 0,503 mm a 0,885 mm em relação aos valores de predição da profundidade e os valores originais.

O modelo de predição geral para as vértebras lombares (L1-L6), observado na Figura 4A e Tabela 1, também obteve desempenho satisfatório, com R^2 ajustado de 0,922 e REMQ de 0,991 mm em relação aos valores de predição da profundidade e os valores originais. No entanto, embora o REMQ do modelo geral possa ser considerado baixo, no gráfico de

resíduos apresentado na Figura 4B, foi observada grande quantidade de resíduos brutos entre 1-2 mm e quatro resíduos > 2 mm. Portanto, os modelos individuais ofereceram maior segurança cirúrgica para inserção dos pinos no corpo vertebral lombar, ao comparar com o modelo matemático geral.

Os erros (IC 95%) de cada coeficiente podem ser observados na Tabela 2. Também, é possível verificar os coeficientes que têm importância significativa ($p < 0,05$) na predição da profundidade da TC para cada vértebra. Verificou-se a oscilação das variáveis mais importantes para cada vértebra, sendo a LQCr a mais prevalente entre as significativas. A LQCr foi a variável de importância significativa para as vértebras L2, L3 e L6 e para o modelo geral (L1-L6). As vértebras L4 e L5 tiveram AQCcr como a variável mais importante na predição, enquanto L1 teve a variável AECr como a mais relevante. Isso significa que, dentre as medidas de RX, essas são as variáveis que mais influenciaram na predição da profundidade em cada modelo, afirmando que são as escolhas de mensuração radiográfica que melhor explicam a profundidade.

Recentemente, foi sugerido por NOWAK et al. (2023) que a conformação corporal pode afetar o ângulo de inserção de implantes vertebrais, limitando a aplicação generalizada de ângulos entre as raças. Os autores também observaram que as médias das angulações permaneceram entre 50 e 60° para as vértebras L1 a L6 e nas diferentes raças estudadas. Nesse estudo, também pode-se observar variação no formato anatômico entre as vértebras das peças anatômicas, no mesmo indivíduo e da mesma vértebra em indivíduos diferentes.

Mesmo assim, quando mensuradas as profundidades de L1 à L6 nos ângulos de 50°, 55° e 60° em relação ao plano sagital nas imagens de TC, respeitando o ponto de inserção indicado (ponto médio entre pedículo e processo transversal), não se observou nenhum trajeto que violasse o canal vertebral ou que se obtivesse estoque ósseo insatisfatório, sendo considerados corredores seguros. Portanto, a utilização da angulação de inserção em cerca de

55° em vértebras lombares (L1-L6) é uma referência considerada segura, observando o ponto de inserção recomendado para o implante. Em ângulo mais agudo (em relação ao plano sagital) do que o recomendado poderia resultar no envolvimento da aorta e da veia cava na continuação do corredor de implantação (WHEELER et al., 2002).

Em pesquisa que avaliou a distância mínima dos corpos vertebrais às estruturas anatômicas vitais em cães, WATINE et al. (2006) encontraram, na coluna lombar, valor de 3,2 mm entre o corpo vertebral de L6 e a veia cava caudal. Em um estudo de WHEELER et al. (2002), foi observado caudalmente à L4, desvio lateral do músculo psoas. Para os autores, esse achado reduz a proteção de estruturas vitais adjacentes e aumenta as chances de lesões iatrogênicas em vasos sanguíneos ou vísceras abdominais por perfuração excessiva de implantes nos corpos vertebrais de cães.

Logo, isso reforça a importância do planejamento cirúrgico prévio, com mensurações de profundidade do implante mais acuradas possíveis, mesmo em vértebras lombares. No presente estudo, todos os modelos matemáticos individuais apresentaram resíduo bruto inferior a 2 mm e REMQ inferiores à 0,9 mm, o que deve garantir adequada segurança na execução da proposta apresentada, ou seja, utilizando o modelo matemático a partir de dados obtidos das mensurações radiográficas para definição da profundidade de inserção, a extremidade do pino após alcançar a cortical trans não será superior a 2 mm, reduzindo as chances de penetração em estruturas vasculares, ao mesmo tempo assegurando a estabilidade vertebral.

A tomografia computadorizada é o exame de imagem com maior sensibilidade diagnóstica para identificação de fraturas e/ou luxações vertebrais e no planejamento cirúrgico para definição da angulação, largura e profundidade de introdução de implantes para definição de corredores seguros (WATINE et al., 2006; HETTLICH et al., 2010; HETLLICH, 2017; WEH e KRAUS, 2018; NOWAK et al., 2023), quando comparado ao exame radiográfico

simples (KINNS et al., 2006; ARAUJO et al., 2015; HETTLICH, 2017; WEH e KRAUS 2018).

Considerando, no entanto, as limitações na aquisição desse equipamento em alguns centros cirúrgicos e/ou da restrição financeira dos tutores e as recomendações bem estabelecidas na literatura sobre os ângulos e ponto de inserção dos implantes nas vértebras lombares (L1-L6), a relevância desta pesquisa está na proposta de modelos matemáticos (individual e geral) que possibilitaram a predição da profundidade de inserção dos pinos bicorticais na estabilização vertebral lombar (L1-L6) com maior segurança, utilizando mensurações radiográficas. No conhecimento dos autores, esse foi o primeiro estudo que utilizou a radiografia digital e modelos matemáticos para definição da profundidade de inserção de implantes bicorticais em corpos vertebrais lombares de cães.

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que as mensurações radiográficas obtidas dos corpos de vértebras lombares (L1 à L6) de cadáveres caninos são capazes de prever, por meio de modelos matemáticos, a profundidade de inserção de pinos bicorticais nos corpos vertebrais utilizando, como referência para introdução, o ponto médio entre o pedículo e o processo transversal em um ângulo de 55° em relação ao plano sagital. Foram obtidos melhores resultados quando utilizados os modelos RLM individuais.

AGRADECIMENTOS

Esta pesquisa recebeu apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), processo número 310969/2021-2, e da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) (financial code 001). Ao Setor de Diagnóstico por Imagem do Hospital Veterinário Universitário – Universidade Federal de

Santa Maria (UFSM) e à Unidade de Diagnóstico por Imagem do Hospital Universitário de Santa Maria - UFSM, por fornecerem os dados para este estudo.

DECLARAÇÃO DE CONFLITO DE INTERESSE

Os autores declaram não possuir conflito de interesse.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Os autores contribuíram igualmente para o manuscrito.

REFERÊNCIAS

AIKAWA, T. *et al.* Vertebral Stabilization Using Positively Threaded Profile Pins and Polymethylmethacrylate, With or Without Laminectomy, for Spinal Canal Stenosis and Vertebral Instability Caused by Congenital Thoracic Vertebral Anomalies. **Veterinary Surgery**. v.36, p.432–441, 2007. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2007.00289.x> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.1111/j.1532-950X.2007.00289.x.

AIKAWA, T. *et al.* Decompressive laminectomy with vertebral stabilization allows neurologic improvement of most Pekingese dogs with thoracolumbar vertebral instability. **Journal of the American Veterinary Medical Association**. v.261, n.10, p.1-7, 2023. Available from: <https://doi.org/10.2460/javma.23.01.0041> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.2460/javma.23.01.0041.

ARAÚJO, B.M. *et al.* Observações clinicocirúrgicas em fraturas e luxações vertebrais toracolombares em cães. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.4, p.961-968, 2015. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4162-7541> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.1590/1678-4162-7541.

ARAUJO, B.M. *et al.* Estudo clínico e epidemiológico em cães com fraturas e luxações vertebrais toracolombares. **Pesquisa Veterinária Brasileira**. v.37, n.8, p.866-870, 2017. Available from: <https://doi.org/10.1590/S0100-736X2017000800014> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.1590/S0100-736X2017000800014.

BAGLEY, R.S. Spinal fracture or luxation. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**. v.30, n.1, p.133–153, 2000. Available from: [https://doi.org/10.1016/S0195-5616\(00\)50006-0](https://doi.org/10.1016/S0195-5616(00)50006-0) Accessed: jan. 21, 2024. doi: 10.1016/S0195-5616(00)50006-0.

BITTERLI, T. *et al.* Minimal Invasive Fluoroscopic Percutaneous Lateral Stabilization of Thoracolumbar Spinal Fractures and Luxations Using Unilateral Uniplanar External Skeletal Fixators in Dogs and Cats. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. v.35, n.1, p. 064-0710, 2022. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1736219> Accessed: jan. 16, 2024. doi: 10.1055/s-0041-1736219.

BLASS, C. E.; SEIM, H. B. Spinal fixation in dogs using Steinmann pins and methylmethacrylate. **Veterinary Surgery**. v.13, p.203-210, 1984. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.1984.tb00790.x> Accessed: jan. 16, 2024. doi: 10.1111/j.1532-950X.1984.tb00790.x

CATERINO, C. *et al.* Canine Seventh Lumbar Vertebra Fracture: A Systematic Review. **Animals**. v.12, p.193, 2022. Available from: <https://doi.org/10.3390/ani12020193> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.3390/ani12020193.

ELFORD, J.H. *et al.* Accuracy of placement of pedicle screws in the thoracolumbar spine of dogs with spinal deformities with three-dimensionally printed patient-specific drill guides. **Veterinary Surgery**. v.49, n.2, p.347-353, 2020. Available from: <https://doi.org/10.1111/vsu.13333> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.1111/vsu.13333.

EVANS, H.E.; De LAHUNTA, A. The Skeleton. In: EVANS, H.E.; De LAHUNTA, A. (Ed.). **Miller's Anatomy of the Dog**. 4. ed. St. Louis: Elsevier Saunders; 2013. Cap. 4, p. 80-151.

FUJIOKA, T. *et al.* Accuracy and Efficacy of a Patient-Specific Drill Guide Template System for Lumbosacral Junction Fixation in Medium and Small Dogs: Cadaveric Study and Clinical Cases. **Frontiers in Veterinary Science**. v.6, p. 494, 2020. Available from: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00494> Accessed: dez. 29, 2023. doi: 10.3389/fvets.2019.00494.

HETTLICH, B.F. *et al.* Accuracy of conventional radiography and computed tomography in predicting implant position in relation to the vertebral canal in dogs. *Veterinary Surgery*. v.39, n.6, p.680–687, 2010. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2010.00697.x> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.1111/j.1532-950X.2010.00697.x.

HETTLICH, B.F. Vertebral Fracture and luxation repair. In: SHORES, A.; BRISSON, B.A. (Ed.), **Current Techniques in canine and feline neurosurgery**. 1. ed. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. cap.25, p. 657-693.

JEFFERY, N.D. Vertebral Fracture and Luxation in Small Animals. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**. v.40, n.5, p. 809-828, 2010. Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.05.004> Accessed: jan. 21, 2024. doi: 10.1016/j.Cvsm.2010.05.004.

KINNS, J. *et al.* Radiographic sensitivity and negative predictive value for acute canine spinal trauma. **Veterinary Radiology & Ultrasound**. v.47, n.6, p. 563–570, 2006. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2006.00186.x> Accessed: jan. 16, 2024. doi: 10.1111/j.1740-8261.2006.00186.x

McKEE, W.M.; DOWNES, C.J. Vertebral stabilisation and selective decompression for the management of triple thoracolumbar disc protrusions. **Journal of Small Animal Practice**. v.49, n.10, p.536–539, 2008. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2008.00582.x> Accessed: jan. 06, 2024 doi: 10.1111/j.1748-5827.2008.00582.x

NOWAK, L. *et al.* Influence of Breed and Body Conformation on Vertebral Implant Insert Angles in Dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**. v.6, n.2, e136–e142, 2023. Available from: <https://doi.org/10.1055/s-0043-1774374> Accessed: jan. 06, 2024 doi: 10.1055/s-0043-1774374.

SMOLDERS, L.A. *et al.* Pedicle screw-rod fixation of the canine lumbosacral junction. **Veterinary Surgery**. v.41, p.720–732, 2012. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950X.2012.00989.x> Accessed: jan. 06, 2024 doi: 10.1111/j.1532-950X.2012.00989.x.

WATINE, S. *et al.* Computed tomography study of implantation corridors in canine vertebrae. **Journal of Small Animal Practice**. v.47, p.651–657, 2006. Available from: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2006.00070.x> Accessed: jan. 06, 2024 doi: 10.1111/j.1748-5827.2006.00070.x

WEH, J.M.; KRAUS, K.H. Vertebral fractures, luxations, and subluxations. In: JOHNSTON, S.; TOBIAS, K. (Ed.). **Veterinary Surgery: Small Animal**. 2nd ed. Elsevier Saunders, 2018. vol.1, cap.34, p.1577-1627.

WHEELER, J.L. *et al.* A Comparison of the Accuracy and Safety of Vertebral Body Pin Placement Using a Fluoroscopically Guided Versus an Open Surgical Approach: An In Vitro Study. **Veterinary Surgery**. v.31, p.468-474, 2002. Available from: <https://doi.org/10.1053/jvet.2002.33616> Accessed: dez. 29, 2023 doi: 10.1053/jvet.2002.33616

YAYLA, S. *et al.* Retrospective Evaluation of Spinal Trauma Treatments in 58 Cats and 12 Dogs. **International Journal of Veterinary and Animal Research**. v.6, n.1, p.23-27, 2023. Available from: <https://zenodo.org/badge/DOI/10.5281/zenodo.7769670.svg> Accessed: jan. 06, 2024. doi: 10.5281/zenodo.7769670

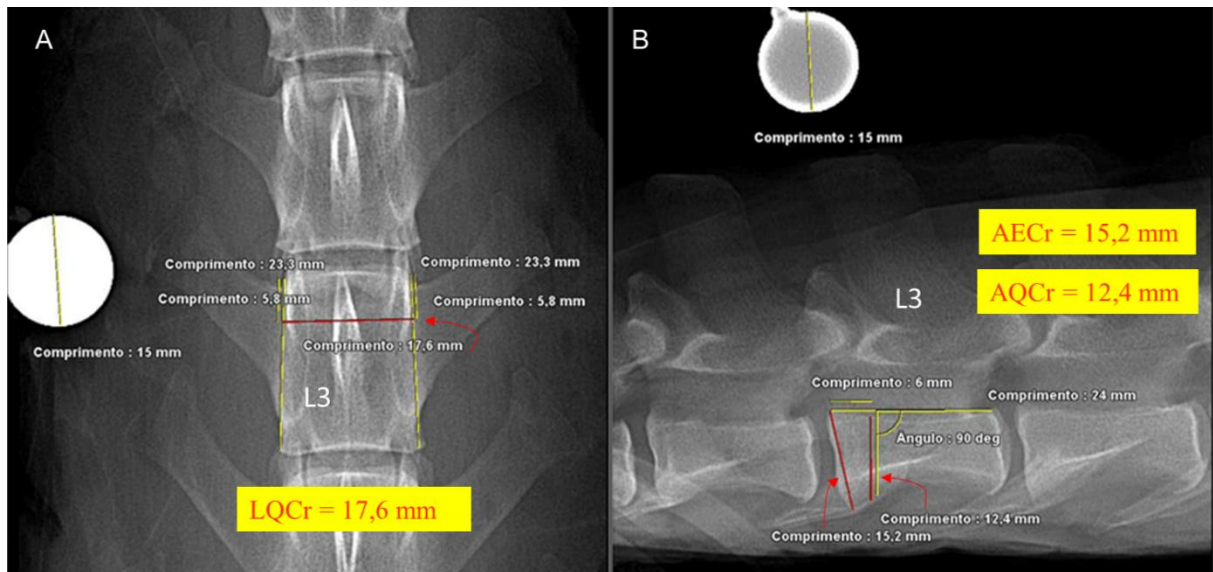


Figura 1 – Imagens radiográficas (A) dorsoventral e (B) laterolateral direita da vértebra L3 de uma peça anatômica da coluna lombar de um cão. Observe o marcador radiográfico para correção da magnificação da imagem, com o posicionamento adjacente à vértebra L3 ao nível do processo transverso (projeção dorsoventral) e ao nível processo espinhoso (projeção laterolateral). Observe a localização do quarto cranial da vértebra nas duas projeções, definido pela medida do comprimento vertebral. (A) Mensurações em vermelho – LQCr: largura do corpo vertebral no quarto cranial – distância entre as linhas que comunicam o aspecto lateral direito e esquerdo das epífises cranial e caudal, ao nível do quarto cranial da vértebra; (B) AECr – altura da epífise cranial – distância entre a extremidade dorsal e ventral da epífise cranial; AQCcr – altura do corpo vertebral no quarto cranial – distância entre a cortical dorsal e ventral do corpo vertebral, mensurada em um ângulo perpendicular em relação ao assoalho vertebral, ao nível do quarto cranial da vértebra.

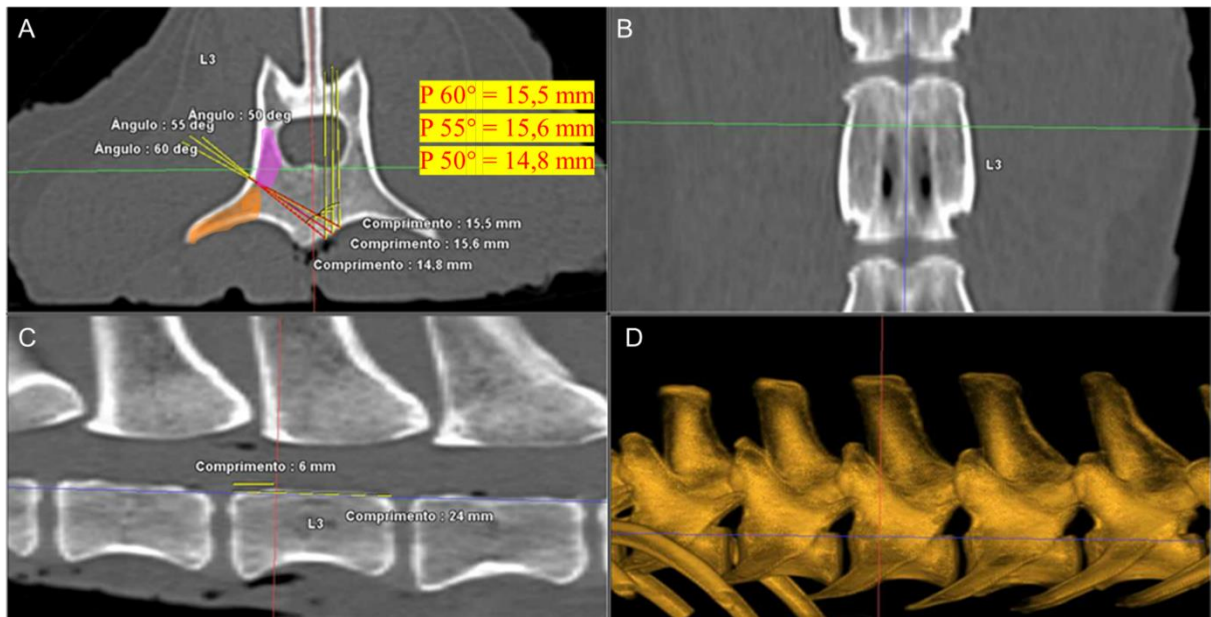


Figura 2 – Imagens de tomografia computadorizada em reconstrução multiplanar da vértebra L3 de uma peça anatômica da coluna lombar de um cão: (A) plano axial, (B) plano dorsal, (C) plano sagital, (D) reconstrução 3D. (A) Mensurações das profundidades (P 50°, P 55° e P 60°) de L3 obtidas no plano axial, com os diferentes ângulos de inserção em relação ao plano sagital. Observe, no plano axial, o ponto de referência para inserção do implante no ponto médio entre o pedículo (identificado na cor rosa) e o processo transversal (identificado na cor laranja). Cada profundidade foi obtida de acordo com a distância entre as corticais ósseas no ponto de entrada e em cada ponto de saída do seu respectivo ângulo. (C) Observe a localização do quarto cranial da vértebra no plano sagital (definido pela medida do comprimento vertebral) e o alinhamento perpendicular ao assoalho vertebral, para obtenção do plano axial na altura exata do quarto cranial da vértebra.

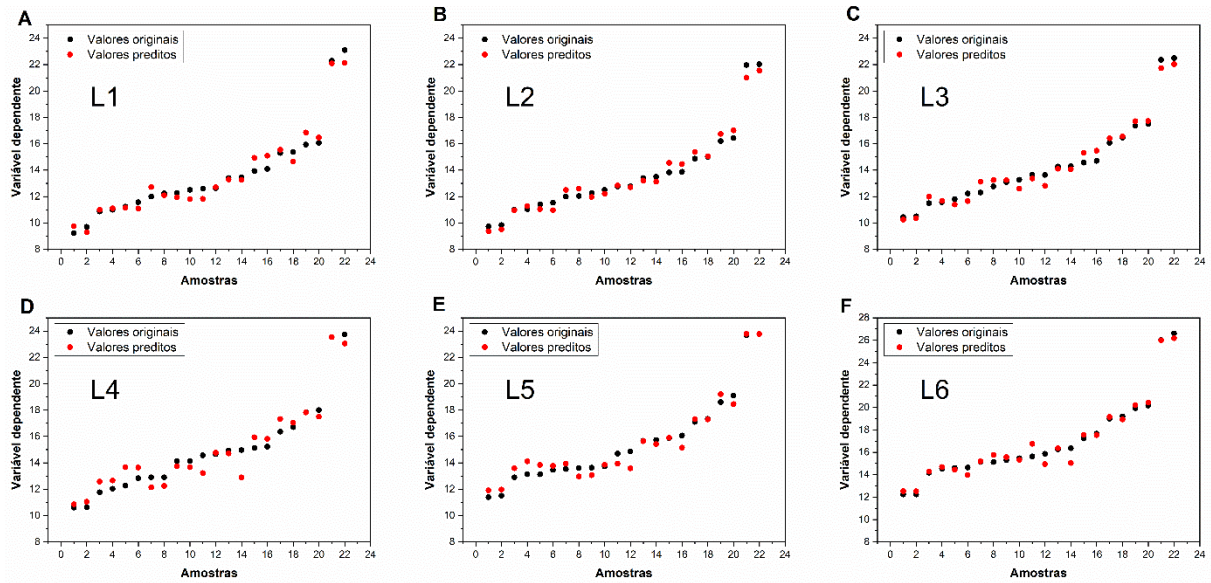


Figura 3 – (A – F) Modelos de Regressão Linear Múltipla (RLM) individual para cada vértebra lombar (de L1 à L6) para prever a profundidade do corpo vertebral mensurado na tomografia computadorizada para inserção de implante na vértebra correspondente com base nas variáveis largura do corpo vertebral no quarto cranial (LQCr), altura do corpo vertebral no quarto cranial (AQCr) e altura da epífise cranial (AECr) obtidas por radiografia.

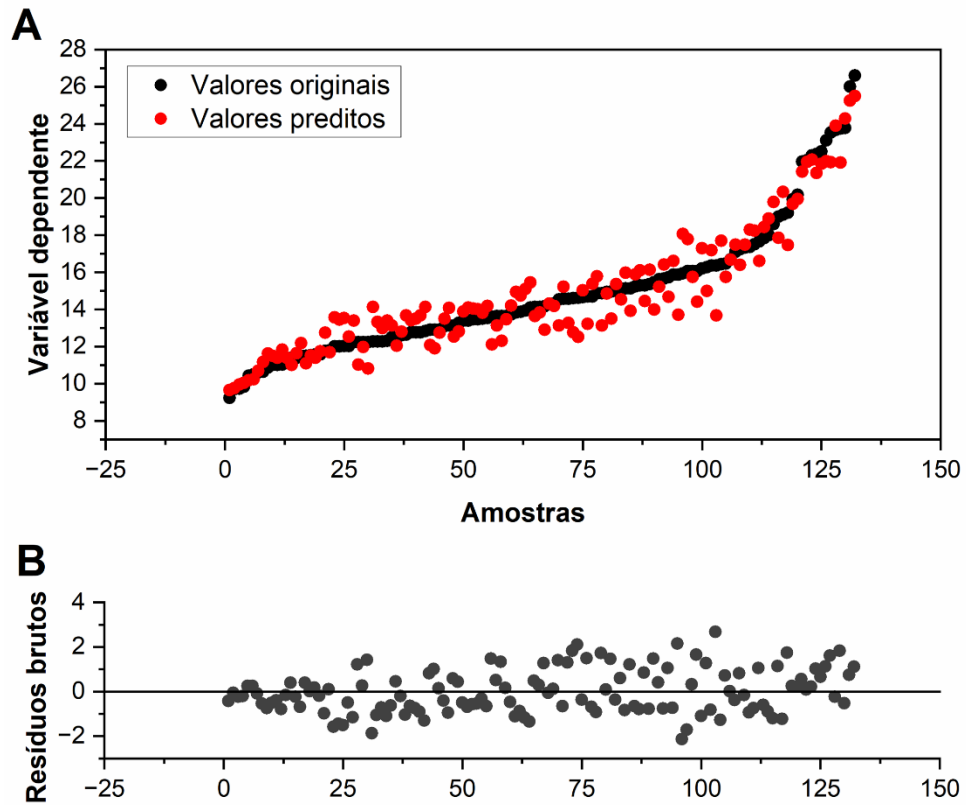


Figura 4 – (A) Modelo de Regressão Linear Múltipla (RLM) geral para prever a profundidade do corpo vertebral mensurado na tomografia computadorizada para inserção do implante das vértebras lombares (L1-L6), com base nas variáveis largura do corpo vertebral no quarto cranial (LQCr), altura do corpo vertebral no quarto cranial (AQCr), e altura da epífise cranial (AECr) obtidas por radiografia. (B) Gráfico de resíduos brutos do modelo.

Tabela 1 - Parâmetros de adequação de ajuste dos modelos de Regressão Linear Múltipla individuais e gerais (L1-L6).

	Equação	R²	R²-ajustado	REMQ
L1	$y = 2,24 - 0,072a + 0,48b + 0,764c$	0,972	0,967	0,623
L2	$y = - 0,17 + 0,614a - 0,047b + 0,415c$	0,979	0,976	0,503
L3	$y = 1,42 + 0,536a + 0,325b + 0,116c$	0,977	0,973	0,533
L4	$y = 0,964 + 0,554a + 0,78b - 0,227c$	0,944	0,935	0,885
L5	$y = 4,153 + 0,483a + 1,233b - 0,676c$	0,968	0,963	0,644
L6	$y = 2,63 + 0,6a + 0,222b + 0,177c$	0,981	0,978	0,555
L1-L6	$y = - 0,379 + 0,939a - 0,08b + 0,05c$	0,923	0,922	0,991

L1-L6 = vértebras lombares; R² = valor que mede a qualidade do modelo de regressão; a = largura do corpo vertebral no quarto cranial (LQCr); b = altura do corpo vertebral no quarto cranial (AQCr); c = altura da epífise cranial (AECr); REMQ: raiz quadrada do erro médio.

Tabela 2 – Valores dos coeficientes, Erro padrão, intervalo de confiança de 95% e variáveis de importância significativa (valor de p) em cada modelo de Regressão Linear Múltipla.

		Valor do coeficiente	Erro padrão	Valor t	Valor p	95% LCI	95% LCS
L1	Intercepto	2.24	1.09	2.05	0.05	-0.05	4.53
	a	-0.072	0.28	-0.25	0.80	-0.66	0.52
	b	0.48	0.30	1.55	0.13	-0.16	1.12
	c	0.764	0.35	2.16	0.04	0.02	1.50
L2	Intercepto	-0.17	0.81	-0.20	0.83	-1.88	1.54
	a	0.614	0.19	3.21	0.004	0.21	1.01
	b	-0.047	0.24	-0.19	0.85	-0.56	0.47
	c	0.415	0.29	1.39	0.17	-0.20	1.03
L3	Intercepto	1.42	0.96	1.47	0.15	-0.60	3.44
	a	0.536	0.15	3.47	0.002	0.21	0.86
	b	0.325	0.34	0.94	0.35	-0.39	1.04
	c	0.116	0.32	0.35	0.72	-0.57	0.80
L4	Intercepto	0.964	1.50	0.64	0.52	-2.19	4.12
	a	0.554	0.28	1.96	0.06	-0.03	1.14
	b	0.78	0.30	2.53	0.02	0.13	1.42
	c	-0.227	0.32	-0.69	0.49	-0.91	0.45
L5	Intercepto	4.153	0.87	4.73	0.16	2.31	5.99
	a	0.483	0.24	1.95	0.06	-0.03	1.00
	b	1.233	0.34	3.55	0.002	0.50	1.96
	c	-0.676	0.44	-1.50	0.14	-1.61	0.26
L6	Intercepto	2.63	0.76	3.43	0.002	1.02	4.23
	a	0.6	0.20	2.87	0.01	0.16	1.03
	b	0.222	0.40	0.55	0.58	-0.62	1.06
	c	0.177	0.53	0.33	0.74	-0.94	1.29
L1-L6	Intercepto	-0.379	0.46	-0.81	0.41	-1.30	0.54
	a	0.939	0.08	11.63	< 0.001	0.77	1.09
	b	-0.08	0.17	-0.45	0.65	-0.43	0.27
	c	0.05	0.18	0.27	0.78	-0.31	0.41

Os valores em negrito são significantes ($p < 0,05$). a = largura do corpo da vértebra no quarto cranial (LQCr); b = altura do corpo vertebral no quarto cranial (AQCr); c = altura da epífise cranial (AECr); LCI: limite de confiança inferior; LCS: limite de confiança superior.

3 ARTIGO 2**Cães com Extrusão de Disco Intervertebral Toracolombar – Estudo Dinâmico em Mielografia**

Raquel Baumhardt, Maurício Borges da Rosa, Diego Prado de Vargas, Marcelo Luís Schwab, Mathias Reginatto Wrzesinski, Júlia da Silva Rauber, Julya Nathalya Felix Chaves & Alexandre Mazzanti

Artigo publicado na *Acta Scientiae Veterinariae*

v.51:1931., 2023.

DOI: 10.22456/1679-9216.135560

RESEARCH ARTICLE

Cães com Extrusão de Disco Intervertebral Toracolombar – Estudo Dinâmico em Mielografia

Dogs with Thoracolumbar Intervertebral Disc Extrusion – Dynamic Study in Myelography

Raquel Baumhardt¹, Maurício Borges da Rosa², Diego Prado de Vargas³, Marcelo Luís

Schwab³, Mathias Reginatto Wrzesinski¹, Julia da Silva Rauber¹, Julya Nathalya Felix

Chaves¹, Alexandre Mazzanti^{1,4}

¹Programa de Pós Graduação em Medicina Veterinária (PPGMV), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil. ²Médico Veterinário Autônomo, Santa Maria, RS, Brazil. ³Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), Santa Cruz do Sul, RS, Brazil. ⁴Serviço de Neurologia e Neurocirurgia Veterinária (SNNV), Departamento de Clínica de Pequenos Animais, Centro de Ciências Rurais (CCR), Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), Santa Maria, RS, Brazil. CORRESPONDENCE: A. Mazzanti [alexamazza@yahoo.com.br]. SNNV, CCR, UFSM. Av. Roraima n.1000. Camobi. CEP 97105-900 Santa Maria, RS, Brazil.

ABSTRACT

Background: Myelography is recommended for diagnosing thoracolumbar intervertebral disc extrusion (IVDE) in dogs. The authors of this study found that the images of myelograms obtained in the lateral radiographic view during the injection of contrast medium contained relevant information that assisted in determining the location of spinal cord compression in dogs with IVDE; however, no studies have reported a possible contribution of these images in the diagnosis of compression. This study aimed to evaluate the contribution of radiographic views acquired during contrast injection (dynamic study) to the location of spinal cord compression in dogs with thoracolumbar IVDE.

Materials, Methods & Results: Myelograms that defined extradural compression of the spinal cord in dogs with a definitive diagnosis of thoracolumbar or lumbar IVDE were included. In addition to conventional ventrodorsal, left and right oblique, and lateral radiographic views (obtained after contrast administration), lateral radiographic views acquired during the injection of at least 75% of the total calculated contrast volume in each patient (dynamic study). The examinations were evaluated by veterinary doctors, a radiologist, and a neurologist, all experienced in myelography assessments. In each radiographic view, the possibility of locating the affected intervertebral space (deviation or attenuation of the contrast column or absence of alteration) was observed. We analyzed which view, dynamic study, or conventional lateral study better demonstrated the compression site. The data were statistically analyzed. A total of 74 myelographic examinations were included in the study. Regarding the possibility of locating the affected intervertebral space in each radiographic view and the evaluators' perception of diagnostic evidence between the dynamic study and conventional lateral views, there was no statistical difference among the evaluators. Considering the total evaluations among the evaluators, the dynamic study identified the compression site in 75% of cases, while the conventional lateral view identified the compression site in 66.2%. The perceptions of the evaluators regarding the diagnostic evidence of the dynamic and conventional lateral views were 37.16% in favor of the dynamic study, 33.78% were indifferent, 8.78% in favor of the conventional lateral view, and 20.27% were not evident. There was a statistically significant difference in favor of the dynamic study for better diagnostic evidence compared to the conventional lateral view. In two patients, the dynamic study was crucial for determining the compression site, expediting the execution of decompressive surgeries and avoiding further diagnostic imaging interventions.

Discussion: Myelography is an acceptable imaging modality for diagnosing IVDE in dogs when advanced imaging modalities are not available, especially in cases where dogs with

severe neurological deficits need to undergo spinal decompression surgery as quickly as possible. Dynamic studies can assist in detecting ventral and dorsal compressive lesions, as well as the intervertebral space to be accessed, particularly in cases where conventional projections of the myelographic examination show subtle ventral or dorsal compressions or an extensive intramedullary pattern due to parenchymal edema, resulting in failure to fill the contrast columns for more than one intervertebral space. Considering that the dynamic study proved to be more effective in highlighting the compression site than the conventional lateral view, its inclusion in myelography examinations can contribute to improved diagnostic accuracy. In conclusion, dynamic myelography aids in determining lesion location, and its inclusion in conventional myelographic studies of dogs with suspected IVDE is recommended.

Keywords: radiographic views, extradural compression, disc extrusion, spinal cord.

Descritores: projeções radiográficas, compressão extradural, extrusão de disco, medula espinhal.

INTRODUÇÃO

A extrusão do disco intervertebral (EDIV) é a causa mais comum de compressão extradural da medula espinhal em cães e a mielografia ainda é recomendada como uma das modalidades diagnósticas de imagem [6]. Para o diagnóstico de EDIV, são necessárias as projeções ventrodorsal, lateral e oblíquas para uma melhor acurácia na identificação do local e da lateralização da compressão medular [3,4,8,9,11].

Para a realização da mielografia, existe a indicação do uso de fluoroscopia durante a injeção do contraste no espaço subaracnóideo [1,7] e a recomendação da administração de uma “dose teste” de contraste antes da administração do volume total calculado para o exame,

a fim de confirmar a presença do contraste no espaço subaracnóide ou detectar o extravasamento acidental para o espaço epidural [3].

Com base na recomendação da “dose teste” [3], os autores do presente estudo verificaram que, durante a injeção de parte do volume de contraste calculado para o paciente (estudo dinâmico), as imagens mielográficas obtidas na projeção lateral continham informações relevantes que auxiliavam nitidamente na conclusão do local de compressão medular em cães com EDIV toracolombar e lombar.

Sendo assim, o objetivo desse estudo retrospectivo foi avaliar a contribuição do estudo dinâmico em projeção radiográfica lateral na localização da lesão compressiva em cães com EDIV toracolombar e lombar.

MATERIAIS E MÉTODOS

Seleção das mielografias

Foram avaliadas mielografias de cães atendidos pelo Serviço de Neurologia e Neurocirurgia Veterinária (SNNV) realizadas no Setor de Diagnóstico por Imagem de uma Instituição de Ensino Superior, entre janeiro de 2012 a julho de 2023). As mielografias incluídas foram aquelas que definiam compressão extradural da medula espinhal e que continham projeções radiográficas convencionais (ventrodorsal, oblíquas esquerda e direita e projeção lateral) obtidas após a administração do contraste. Além disso, possuir as projeções radiográficas laterais adquiridas durante a injeção de pelo menos 75% do volume total de contraste calculado para cada paciente (estudo dinâmico). Todas as mielografias foram de cães com diagnóstico definitivo de EDIV (Hansen tipo I) na região toracolombar ou lombar, confirmada pela remoção do material extruído no canal vertebral durante o procedimento cirúrgico.

Exames mielográficos

As mielografias foram realizadas em equipamento de radiologia digital, conforme a técnica descrita na literatura [3], com o paciente em decúbito lateral, sob anestesia geral inalatória, para punção na cisterna lombar (L5-L6). O contraste utilizado foi o iohexol (300 mg/mL Omnipaque®)¹, na dose de 0,3 a 0,45 mL/kg. A sequência de aquisição de imagens foi padronizada, sendo adquirido primeiro a projeção lateral do estudo dinâmico (PLED), seguido das projeções radiográficas após a injeção do contraste, ou seja, oblíqua esquerda, oblíqua direita, ventrodorsal e projeção lateral convencional (PLC).

Avaliação das imagens e coleta de dados

Os exames foram avaliados por dois médicos veterinários (um radiologista e um neurologista), ambos com experiência na avaliação de mielografias. Os avaliadores observaram individualmente cada estudo mielográfico e identificaram o local da compressão. As alterações que foram registradas em cada projeção foram: a possibilidade ou não de localizar o espaço intervertebral acometido. No caso de ser possível localizar a lesão em determinada projeção radiográfica, foi detalhado se a alteração observada foi desvio de colunas de contraste ou atenuação/falha no preenchimento do contraste no segmento da medula espinhal acometido.

Ao final de cada análise mielográfica, os avaliadores responderam qual das projeções radiográficas, entre a PLED e a PLC, melhor evidenciou o local de compressão medular, a fim de avaliar a contribuição do estudo dinâmico na conclusão do local da compressão. As possíveis respostas foram: PLED ou PLC – indicando qual das projeções evidenciou melhor o local da lesão; indiferente – quando, entre as duas projeções, não houve diferença na imagem radiográfica do local de compressão; não evidente – quando em nenhuma das projeções foi possível concluir o local da compressão.

Análise estatística

As variáveis da percepção dos avaliadores, quanto à identificação do local de compressão medular nas distintas projeções radiográficas (PLED, oblíqua esquerda, oblíqua direita, ventrodorsal e PLC) e a melhor evidência diagnóstica entre as projeções PLED e PLC foram determinadas por meio de tabelas de frequência. Com o objetivo de verificar a associação entre avaliadores (radiologista e neurologista), estabeleceu-se o valor de P por meio do teste qui-quadrado, ao nível de 5% de significância. Além disso, para determinar as diferenças entre as respostas totais dos avaliadores frente a evidência diagnóstica das projeções PLED e PLC (respostas: PLED, PLC, indiferente ou não evidente), utilizou-se o valor de P obtido pelo teste de Friedman, ao nível de 5% de significância e as diferenças dos postos obtidos. As análises estatísticas da metodologia foram executadas através do procedimento PROC FREQ no aplicativo SAS® (System for Windows™ versão 9.0)².

RESULTADOS

Foram avaliadas 343 mielografias no período indicado. Foram incluídos, nesse estudo, 74 mielografias de cães com EDIV confirmada em procedimento cirúrgico, sendo 87,8% (n=65) da região toracolombar (T3-L3) e 12,2% (n=9) da região lombar (L4-L7).

Houve concordância entre os avaliadores para local de compressão medular em 100% dos exames mielográficos. Com relação a avaliação individual de cada projeção radiográfica para a presença ou não de alterações que identificassem o local da lesão, não houve diferença entre os avaliadores pelo teste qui-quadrado (PLED $\chi^2= 0,04$, $P=0,09$; PLC $\chi^2= 0,48$, $P=0,49$; oblíqua direita $\chi^2= 0,23$, $P=0,63$, oblíqua esquerda $\chi^2= 0,59$, $P=0,44$, ventrodorsal $\chi^2= 0,70$, $P=0,40$).

Considerando o total de análises entre os avaliadores, a PLED identificou o local da compressão em 75% (n=111/148) e a PLC em 66,2% (n=98/148) das mielografias. Os

resultados sobre a evidência diagnóstica do local de compressão entre as PLED e PLC estão demonstrados na Tabela 1. Houve diferença significativa quanto a melhor evidência diagnóstica do PLED quando comparada com a PLC pelo teste de Friedman. Algumas demonstrações da melhor evidência do PLED em comparação com a PLC estão representadas na Figura 1.

DISCUSSÃO

Não foram encontradas referências na literatura consultada que utilizaram as imagens em projeções radiográficas laterais durante a injeção de contraste (estudo dinâmico) no auxílio ao diagnóstico de compressão extradural da medula espinhal, sendo o primeiro estudo a avaliar a contribuição desse método em cães com EDIV toracolombar e lombar.

Foi referenciado que a mielografia está sendo amplamente substituída por RM ou TC, no entanto, continua sendo uma opção de imagem aceitável para diagnóstico de EDIV em cães quando as modalidades avançadas de imagem não estão disponíveis [2]. Associado a isso, há uma recomendação para que cães com lesões medulares causadas por EDIV com deficiências neurológicas graves devam ser submetidos a cirurgia descompressiva o mais rápido possível [6], ressaltando a importância do diagnóstico de EDIV por meio do exame mielográfico em locais onde não há acesso a exames avançados de imagem.

A sensibilidade da mielografia nas projeções convencionais para localização da compressão medular de cães com EDIV relatada na literatura mais recente variou de 83,6% a 99% [4,5,9]. Considerando que a PLED demonstrou ser mais eficaz na evidência do local de compressão quando comparado a PLC, a sua inclusão no estudo mielográfico proporcionou uma melhor confiabilidade no diagnóstico e, com isso, melhor acurácia.

A definição do desvio circunferencial do contraste é importante para determinar a lateralização da lesão e, assim, definir o lado do acesso cirúrgico [4]. A PLED, por se tratar de

uma incidência lateral, permitiu avaliar somente os desvios da coluna de contraste no aspecto dorsal ou ventral da medula espinhal. Mesmo assim, o estudo dinâmico em projeção lateral deve ser incluído durante a mielografia, principalmente quando existe a possibilidade de atenuação ou falta de preenchimento do contraste no espaço subaracnóide nas projeções convencionais, devido ao edema do parênquima medular em casos de EDIV de evolução hiperaguda ou aguda [4]. Os autores acreditam que, durante a injeção do contraste no estudo dinâmico, exista maior concentração do fármaco no espaço subaracnóide e melhor definição das colunas contrastadas.

Vale salientar que em dois cães do estudo não foi possível concluir o local da compressão medular com as projeções convencionais mielográficas (Figura 2) e que, sem o estudo dinâmico, seria necessária uma nova intervenção diagnóstica de imagem e retardo no procedimento cirúrgico. Porém, com a PLED isso não foi necessário, já que permitiu a conclusão do local da lesão, agilizando assim, a realização das cirurgias descompressivas.

O aparelho de radiologia digital possibilitou maior agilidade no tempo de aquisição das imagens, permitindo a realização da projeção lateral do estudo dinâmico proposto nesse estudo. Deve-se salientar a importância quanto a proteção radiológica adequada do médico veterinário executor da técnica mielográfica frente a exposição à radiação ionizante, já que o estudo dinâmico é dependente de um operador que permanece exposto durante a injeção do contraste no espaço subaracnóide [10].

A principal limitação do estudo foi a sua característica retrospectiva, o que determina uma interpretação cautelosa na conclusão dos resultados encontrados. Mesmo assim, a mielografia é o principal exame utilizado para auxiliar no diagnóstico de lesões compressivas da medula espinhal pela EDIV, aonde não há disponibilidade de exames mais avançados de imagem. A inclusão da PLED pode auxiliar na definição do local de compressão medular e a

realização do tratamento cirúrgico de forma rápida, aumentando as chances na recuperação do paciente [6].

CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que o PLED da mielografia contribui na localização da compressão de EDIV por permitir uma melhor definição das colunas contrastadas quando comparado com a projeção PLC e auxilia no diagnóstico da localização e não da lateralização da lesão compressiva, sendo recomendada a sua inclusão no estudo mielográfico convencional de cães com suspeita de EDIV.

MANUFACTURERS

¹GE HealthCare. Shanghai, China.

²SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.

Funding: This research received financial support from the Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) process number 310969/2021-2, and from the Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, CAPES (financial code 001).

Acknowledgements. We are grateful to the Hospital Veterinário Universitário of the Universidade Federal de Santa Maria, Setor de Diagnóstico por Imagem and Setor de Neurologia e Neurocirurgia Veterinária (SNNV), for providing the data for this study.

Declaration of interest. The authors report no conflicts of interest. The authors alone are responsible for the content and writing of the paper.

REFERÊNCIAS

- 1 Barone G., Ziemer L.S., Shofer F.S. & Steinberg S.A. 2002.** Risk factors associated with development of seizures after use of iohexol for myelography in dogs: 182 cases (1998). *Journal of the American Veterinary Medical Association*. 220(10): 1499-1502. doi: 10.2460/javma.2002.220.1499.
- 2 Costa R.C., De Decker S., Lewis M.J. & Volk H. 2020.** Diagnostic Imaging in Intervertebral Disc Disease. *Frontiers in Veterinary Science*. 7(588338): 1-24. doi: 10.3389/fvets.2020.588338.
- 3 Dewey C.W., Costa, R.C. & Ducoté J.M. 2016.** Neurodiagnostics. In: Dewey C.W. & Costa R.C. (Eds). *Practical Guide to Canine and Feline Neurology*. 3.ed. Hoboken: John Wiley & Sons, Inc. 61-86.
- 4 Gibbons S.E., Macias C., De Stefani A., Pinchbeck G.L. & McKee W.M. 2006.** The value of oblique versus ventrodorsal myelographic views for lesion lateralization in canine thoracolumbar disc disease. *Journal of Small Animal Practice*. 47: 658-662. doi: 10.1111/j.1748-5827.2006.00067.x.
- 5 Israel S., Levine J.M., Kerwin S.C., Levine G.J. & Fosgate G.T. 2009.** The relative sensitivity of computed tomography and myelography for identification of thoracolumbar intervertebral disk herniations in dogs. *Veterinary Radiology & Ultrasound*. 50(3): 247-252. doi: 10.1111/j.1740-8261.2009.01528.x.
- 6 Olby N.J., Moore S.A., Brisson B., Fenn J., Flegel T., Kortz G., Lewis M. & Tipold A. 2022.** ACVIM consensus statement on diagnosis and management of acute canine thoracolumbar intervertebral disc extrusion. *Journal of Veterinary Internal Medicine*. 36: 1570-1596. doi: 10.1111/jvim.16480.
- 7 Prince D.B. & Ortiz A.O. 2017.** Myelography: from lipid-based to gadolinium-based

contrast agents. *Magnetic Resonance Imaging Clinics of North America*. 25(4): 713-724. doi: 10.1016/j.mric.2017.06.005.

8 Schwab M.L., Ripplinger A., Aiello G., Ferrarin D.A., Colvero A.C., Rauber J., Simon S., Wrzesinski M.R. & Mazzanti A. 2020. Proposta de sequenciamento das projeções mielográficas na identificação de compressão da medula espinhal em cães com doença do disco intervertebral cervical. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. 72(4): 1206-1212. doi: 10.1590/1678-4162-11005.

9 Tanaka H., Nakayama M. & Takase K. 2004. Usefulness of myelography with multiple views in diagnosis of circumferential location of disc material in dogs with thoracolumbar intervertebral disc herniation. *Journal of Veterinary Medical Science*. 66(7): 827-833. doi: 10.1292/jvms.66.827.

10 Thrall D.E. & Widmer W.R. 2015. Radioproteção e Física da Radiologia Diagnóstica. In: Thrall, D.E. (Ed). *Diagnóstico de Radiologia Veterinária*. 6.ed. Rio de Janeiro: Elsevier 28-72.

11 Zardo K.M., Provasi A., Selmi A.L. & Andrade Neto J.P. 2010. Contribuição das projeções oblíquas em mielografias de pequenos animais para a localização de lesões medulares causadas por processo degenerativo do disco intervertebral. *Ciência Rural*. 40(11): 2324-2331. doi: 10.1590/S0103-84782010001100012.

Tabela 1. Percepção dos avaliadores (radiologista e neurologista) quanto a evidência diagnóstica das projeções estudo dinâmico (PLED) e lateral convencional (PLC).

Avaliador	Evidência diagnóstica			
	PLED	Indiferente	PLC	Não evidente
	n (%)			
Radiologista	33 (21,62)*	18 (12,16)	7 (4,73)	16 (11,49)
Neurologista	22 (14,86)	32 (21,62)	6 (4,05)	14 (9,46)
Total	55 ^a (37,16)**	50 ^a (33,78)	13 ^b (8,78)	30 ^{ab} (20,27)
Desvio padrão	3,90	5,46	0,39	1,17

* Não houve diferença significativa na mesma coluna pelo Teste qui-quadrado ($P > 0.05$), da percepção dos avaliadores quanto a evidência diagnóstica das projeções. ** Resultados seguidos por letras distintas na mesma linha diferem entre si pelo teste de Friedman à 5% de probabilidade.

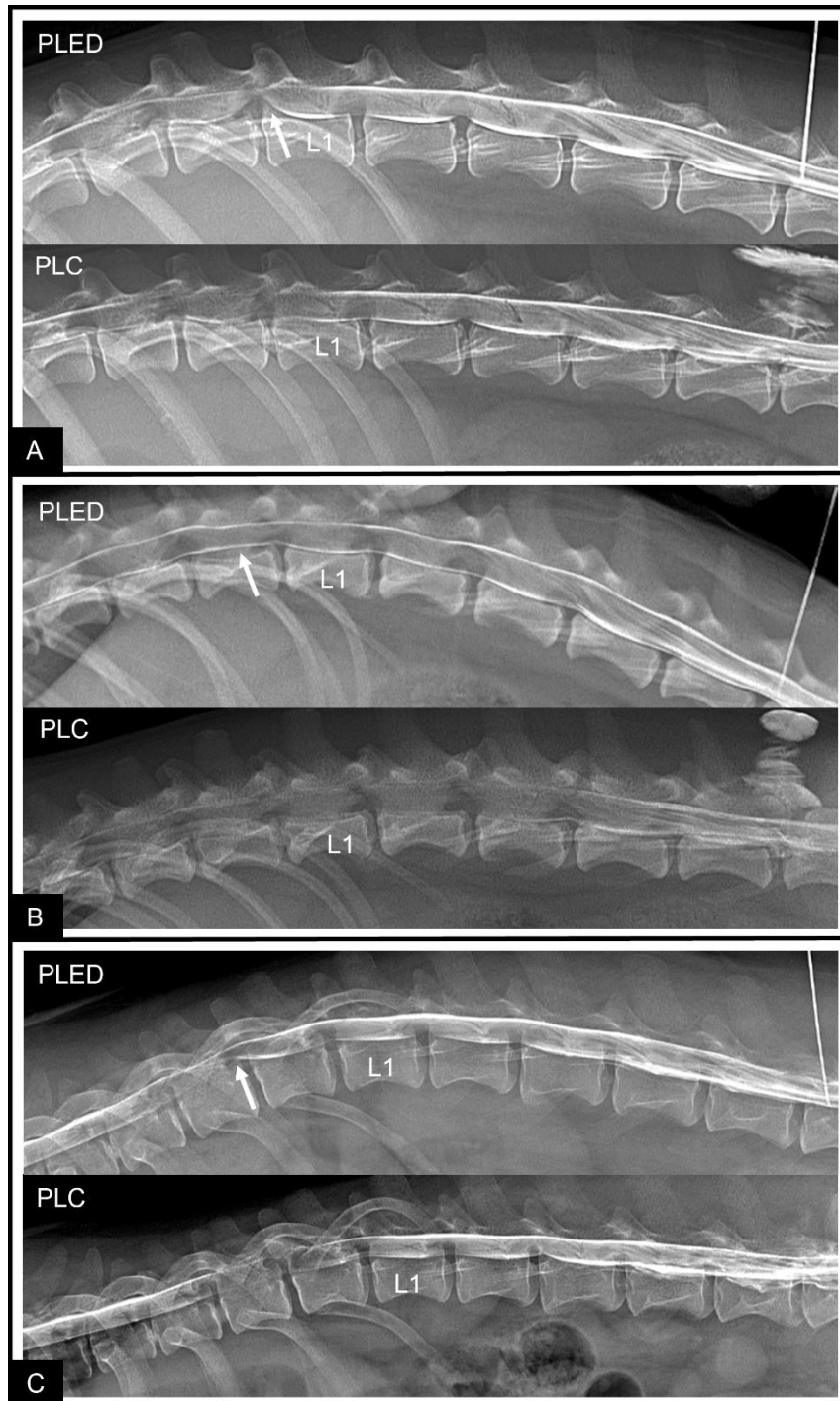


Figura 1. Projeções radiográficas do estudo dinâmico (PLED) e projeções laterais convencionais (PLC) das mielografias de três cães (A, B, C), as quais as PLED tiveram melhores evidências diagnósticas dos locais de compressão medular (setas brancas), quando comparado com as PLC. PLED = projeção lateral estudo dinâmico; L1 = primeira vértebra lombar; PLC = projeção lateral convencional.

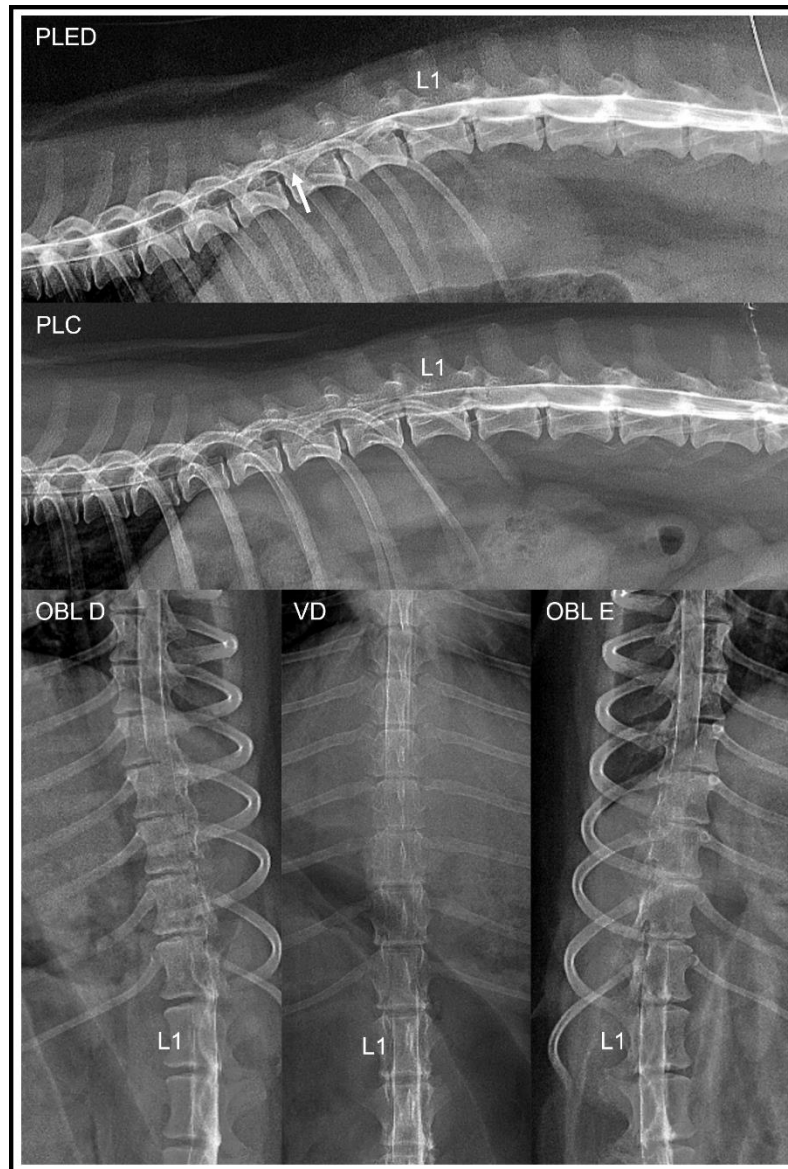


Figura 2. Mielografia de um cão demonstrando que o estudo dinâmico (PLED) foi definitivo para a conclusão do local de compressão. Nas projeções radiográficas convencionais se observa atenuação/falha do preenchimento de contraste de T10 a T13, caracterizando um padrão intramedular extenso, não sendo possível definir o local da compressão. Na PLED se evidencia a compressão medular pelo desvio dorsal da coluna de contraste ventral em epífise caudal de T11 à epífise cranial de T13 (seta branca). Nota-se extravasamento do contraste para o espaço epidural. PLED = estudo dinâmico; L1 = primeira vértebra lombar; PLC = projeção lateral convencional; OBL D = oblíqua direita; OBL E = oblíqua esquerda; VD = ventrodorsal.

4 DISCUSSÃO

Tanto a extrusão do disco intervertebral (EDIV) quanto as fraturas e/ou luxações vertebrais são afecções frequentemente diagnosticadas nos serviços de atendimentos neurológicos (CHAVES *et al.*, 2014) e possuem grande importância devido à possibilidade de lesões neurológicas graves. As lesões medulares ainda são alvo de pesquisas na avaliação da etiologia das doenças, das alterações encontradas em imagens, de terapias medicamentosas e cirúrgicas para elucidar os fatores prognósticos e definir as melhores condutas. É consenso que lesões neurológicas graves ocasionadas por EDIV ou por fraturas/luxações instáveis da coluna vertebral são recomendados tratamentos cirúrgicos para descompressão e estabilização da coluna vertebral, respectivamente (HETTLICH, 2017; WEH; KRAUS 2018; WIDMER; THRALL, 2018; OLBY *et al.*, 2022). O tempo entre o início dos sinais clínicos e a terapia cirúrgica é considerado importante na recuperação funcional de pacientes com essas afecções (OLBY *et al.*, 2022).

O diagnóstico, tanto para EDIV quanto para fraturas e/ou luxações depende de exames de imagem, sendo a associação entre tomografia computadorizada e ressonância magnética as modalidades de escolha. No entanto, como demonstrado anteriormente nessa tese, a realidade atual da medicina veterinária é que os exames de imagem avançados não estão disponíveis por parte dos nossos pacientes, seja por indisponibilidade de equipamentos ou por restrição financeira dos seus tutores.

Os artigos 1 e 2 apresentados nessa tese trazem possibilidades de auxiliar no diagnóstico e no planejamento cirúrgico para cães com necessidade de estabilização da coluna vertebral lombar e para cães com EDIV toracolombar, respectivamente, em centros cirúrgicos que tenham disponibilidade apenas de exames radiográficos.

Para cães que necessitam de estabilização vertebral, é essencial que se realize o planejamento cirúrgico para definição do método de estabilização e das estruturas envolvidas. O principal método de estabilização para coluna lombar é a inserção de pinos e/ou parafusos envoltos por cimento ósseo de polimetilmetacrilato (HETTLICH, 2017). Considerando que já são bem estabelecidas as recomendações gerais de angulação e ponto de inserção dos implantes nessa região (WATINE *et al.*, 2006; HETTLICH, 2017; NOWAK; GRAPES; DE DECKER, 2023), ainda seria

necessário para o planejamento cirúrgico a definição da profundidade de inserção do implante, sem que haja envolvimento de estruturas neurais e vasculares.

No artigo 1, foi demonstrada a predição da profundidade de inserção do implante vertebral, aferida em tomografia computadorizada, por meio de cálculos matemáticos, utilizando como variáveis as mensurações vertebrais em radiografia digital. Assim, criando alternativa de planejamento cirúrgico para cães que necessitem de estabilização da coluna vertebral lombar com maior segurança, quando realizadas em locais onde apenas a radiografia está disponível.

Para EDIV é essencial que se saiba o local exato de compressão da medula espinhal para o planejamento e realização da cirurgia descompressiva. A mielografia ainda é um exame utilizado na rotina neurológica e com boa acurácia na identificação da EDIV, sendo recomendada quando os exames de imagem avançados estão indisponíveis (DA COSTA *et al.*, 2020). Uma das limitações na identificação do local da compressão em cães com EDIV toracolombares são pacientes com edema extenso da medula espinhal (GIBBONS *et al.*, 2006). Esses cães tendem a apresentar sinais neurológicos mais agudos e graves, sendo recomendado a cirurgia descompressiva de emergência (OLBY *et al.*, 2022).

Sendo assim, no artigo 2, propusemos a inclusão da projeção lateral do estudo dinâmico nos exames de mielografia de estudo toracolombar, sendo observada melhor evidência diagnóstica no local da compressão nessa projeção, quando comparada com a projeção lateral convencional, principalmente naqueles cães que apresentavam falha ou atenuação do preenchimento de contraste devido ao edema extenso do parênquima medular. Além disso, a projeção lateral do estudo dinâmico foi essencial para o diagnóstico da EDIV em dois cães, nas quais as projeções convencionais foram inconclusivas. A inclusão desta projeção proposta poderá evitar intervenções diagnósticas adicionais e maior tempo entre o início dos sinais clínicos e o procedimento cirúrgico de descompressão medular, favorecendo a recuperação funcional de pacientes, em locais onde não há equipamentos avançados de imagem.

Esta tese trouxe novas informações extraídas de exames de imagem empregando a radiografia digital. Apesar de ser uma modalidade diagnóstica antiga e estar, cada vez mais, sendo substituída por tecnologias avançadas (DA COSTA *et al.*, 2020), ainda há oportunidades de novas pesquisas voltadas para os exames

radiográficos na neuroimagem, permitindo o diagnóstico e tratamento para pacientes que não tem acesso a essas tecnologias.

5 CONCLUSÃO

A radiografia ainda é um exame empregado no auxílio ao diagnóstico de doenças neurológicas, quando não estão disponíveis as modalidades avançadas. Pesquisas que busquem melhores aproveitamentos desta modalidade são importantes ainda na medicina veterinária. É possível a realização de planejamento cirúrgico para inserção de implantes nos corpos vertebrais lombares, utilizando modelos matemáticos para predizer o valor de profundidade de inserção do implante por meio de mensurações radiográficas. A inclusão da projeção lateral do estudo dinâmico em exames de mielografia auxilia no diagnóstico de cães com extrusão de disco intervertebral toracolombar, promovendo melhor planejamento cirúrgico e identificação do local de compressão medular.

REFERÊNCIAS

AIKAWA, T.; KANAZONO, S.; YOSHIGAE, Y.; SHARP, N. J. H.; MUÑANA, K. R. Vertebral Stabilization Using Positively Threaded Profile Pins and Polymethylmethacrylate, with or Without Laminectomy, for Spinal Canal Stenosis and Vertebral Instability Caused by Congenital Thoracic Vertebral Anomalies. **Veterinary Surgery**, v. 36, n. 5, p. 432–441, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.2007.00289.x>

AIKAWA, T.; MIYAZAKI, Y.; KIHARA, S.; NISHIMURA, M. Decompressive laminectomy with vertebral stabilization allows neurologic improvement of most Pekingese dogs with thoracolumbar vertebral instability. **Journal of The American Veterinary Medical Association**, v. 261, n. 10, p. 1–7, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2460/javma.23.01.0041> Acesso em: 10 jan. 2024.

ARAÚJO, B. M.; FERNANDES, T. H. T.; BARAÚNA JUNIOR, D.; BONELLI, M. de A.; AMORIM, M. M. de A.; TUDURY, E. A. Estudo clínico e epidemiológico em cães com fraturas e luxações vertebrais toracolombares. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 866–870, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2017000800014> Acesso em: 4 maio. 2023.

BING, R. S.; CARNEIRO, R. K.; FERREIRA, M. P. Mielografia em cães. **Ciência Animal**, v. 29, n. 1, p. 94–108, 2019. Disponível em: <https://revistas.uece.br/index.php/cienciaanimal/article/view/11058> Acesso em: 22 fev. 2023.

BITTERLI, T.; MUND, G.; HÄUSSLER, T. C.; FARKE, D.; KRAMER, M.; SCHMIDT, M. J.; PEPPLER, C. Minimal Invasive Fluoroscopic Percutaneous Lateral Stabilization of Thoracolumbar Spinal Fractures and Luxations Using Unilateral Uniplanar External Skeletal Fixators in Dogs and Cats. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 35, n. 01, p. 064–070, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1736219> Acesso em: 4 jul. 2022.

BOS, A. S.; BRISSON, B. A.; HOLMBERG, D. L.; NYKAMP, S. G. Use of the ventrodorsal myelographic view to predict lateralization of extruded disk material in small-breed dogs with thoracolumbar intervertebral disk extrusion: 104 cases (2004–2005). **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 230, n. 12, p. 1860–1865, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.2460/javma.230.12.1860> Acesso em: 25 maio. 2021.

BOS, A. S.; BRISSON, B. A.; NYKAMP, S. G.; POMA, R.; FOSTER, R. A. Accuracy, intermethod agreement, and inter-reviewer agreement for use of magnetic resonance imaging and myelography in small-breed dogs with naturally occurring first-time intervertebral disk extrusion. **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 240, n. 8, p. 969–977, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.2460/javma.240.8.969> Acesso em: 11 maio. 2020.

BRUCE, C. W.; BRISSON, B. A.; GYSELINCK, K. Spinal fracture and luxation in dogs and cats: a retrospective evaluation of 95 cases. **Veterinary and Comparative**

Orthopaedics and Traumatology, v. 21, n. 03, p. 280–284, 2008. Disponível em: <https://doi.org/10.1055/s-0037-1617373> Acesso em: 2 fev. 2021.

CATERINO, C.; ARAGOSA, F.; DELLA VALLE, G.; FATONE, G. Canine Seventh Lumbar Vertebra Fracture: A Systematic Review. **Animals**, v. 12, n. 2, p. 193, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ani12020193> Acesso em: 7 jan. 2023.

CHAVES, R. O.; BECKMANN, D. V.; SANTOS, R. P. dos; AIELLO, G.; ANDRADES, A. O.; BAUMHARDT, R.; SILVEIRA, L. B.; MAZZANTI, A. Doenças neurológicas em cães atendidos no Hospital Veterinário da Universidade Federal de Santa Maria, RS: 1.184 casos (2006-2013). **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 34, n. 10, p. 996–1001, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2014001000012>

CHAVES, R. O.; POLIDORO, D. N.; FERANTI, J. P. S.; FABRETTI, A. K.; COPAT, B.; GOMES, L. A.; MAZZANTI, A. Avaliação clínica de cães com doença do disco intervertebral (Hansen tipo I) submetidos à descompressão cirúrgica: 110 casos. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 37, n. 8, p. 835–839, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0100-736x2017000800009> Acesso em: 23 mar. 2021.

CRAWFORD, A. H.; DE DECKER, S. Clinical presentation and outcome of dogs treated medically or surgically for thoracolumbar intervertebral disc protrusion. **Veterinary Record**, v. 180, n. 23, p. 569–569, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/vr.103871> Acesso em: 3 ago. 2022.

DA COSTA, R. C.; DE DECKER, S.; LEWIS, M. J.; VOLK, H. Diagnostic Imaging in Intervertebral Disc Disease. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 7, n. 588338, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.588338>

DENNISON, S. E.; DREES, R.; RYLANDER, H.; YANDELL, B. S.; MILOVANCEV, M.; PETTIGREW, R.; SCHWARZ, T. Evaluation of different computed tomography techniques and myelography for the diagnosis of acute canine myelopathy. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 51, n. 3, p. 254–258, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2010.01667.x> Acesso em: 2 nov. 2022.

DEVECI, M. Z. Y.; LEWIS, D. D.; LEDERER, X. J. Evaluation of a 3-D printed drill guide to facilitate fluoroscopic-assisted Kirschner wire placement for minimally invasive iliosacral screw placement in dog cadavers. **American Journal of Veterinary Research**, v. 84, n. 9, p. 1–8, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.2460/ajvr.23.04.0084> Acesso em: 22 jan. 2024.

DEWEY, C. W.; DA COSTA, R. C.; DUCOTÉ, J. M. Neurodiagnostics. *In*: DEWEY, C. W.; DA COSTA, R. C. (org.). **Practical Guide to Canine and Feline Neurology**. 3.ed. : JohnWiley & Sons, 2016. p. 61–86.

EVANS, H. E.; DE LAHUNTA, A. The Skeleton. *In*: EVANS, H. E.; DE LAHUNTA, A. (org.). **Miller's Anatomy of the Dog**. 4. ed. St. Louis: Elsevier Saunders, 2013. p. 80–151.

FLUEHMANN, G.; DOHERR, M. G.; JAGGY, A. Canine neurological diseases in a referral hospital population between 1989 and 2000 in Switzerland. **Journal of Small**

Animal Practice, v. 47, n. 10, p. 582–587, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2006.00106.x> Acesso em: 30 jan. 2022.

FUCHS, J.; DOMANIŽA, M.; KURICOVÁ, M.; LIPTÁK, T.; LEDECKÝ, V. Comparison of Imaging Methods and Population Pattern in Dogs with Spinal Diseases in Three Periods between 2005 and 2022: A Retrospective Study. **Veterinary Sciences**, v. 10, n. 5, p. 359–359, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/vetsci10050359> Acesso em: 11 ago. 2023.

FUJIOKA, T.; NAKATA, K.; NAKANO, Y.; NOZUE, Y.; SUGAWARA, T.; KONNO, N.; MAEDA, S.; KAMISHINA, H. Accuracy and Efficacy of a Patient-Specific Drill Guide Template System for Lumbosacral Junction Fixation in Medium and Small Dogs: Cadaveric Study and Clinical Cases. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 6, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00494> Acesso em: 22 jan. 2024.

GALLASTEGUI, A.; DAVIES, E.; ZWINGENBERGER, A. L.; NYKAMP, S.; RISHNIW, M.; JOHNSON, P. J. MRI has limited agreement with CT in the evaluation of vertebral fractures of the canine trauma patient. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 60, n. 5, p. 533–542, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/vru.12785>

GIBBONS, S. E.; MACIAS, C.; STEFANI, A. D.; PINCHBECK, G.; MCKEE, W. M. The value of oblique versus ventrodorsal myelographic views for lesion lateralisation in canine thoracolumbar disc disease. **Journal of Small Animal Practice**, v. 47, n. 11, p. 658–662, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2006.00067.x> Acesso em: 11 set. 2023.

GOFFART, L. M.; PRECHT, C.; FOSGATE, G. T.; MAIOLINI, A.; HETTLICH, B. F. Accuracy of end-on fluoroscopy in predicting implant position in relation to the vertebral canal in dogs. **Frontiers in Veterinary Science**, v. 9, n. 982560, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.3389/fvets.2022.982560> Acesso em: 22 jan. 2024.

GUEVARA, F.; FOSS, K. D.; HARPER, T. A. M.; MORAN, C. A.; HAGUE, D. W.; HAMEL, P. E. S.; SCHAEFFER, D. J.; MCCOY, A. M. Ex vivo comparison of pin placement with patient-specific drill guides or freehand technique in canine cadaveric spines. **Veterinary Surgery**, v. 53, n. 2, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/vsu.14042> Acesso em: 22 jan. 2024.

HANSEN, H.-J. A Pathologic-Anatomical Study on Disc Degeneration in Dog: With Special Reference to the So-Called Enchondrosis Intervertebralis. **Acta Orthopaedica Scandinavica**, v. 23, n. 11, p. 1–130, 1952. Disponível em: <https://doi.org/10.3109/ort.1952.23.suppl-11.01>

HECHT, S.; DA COSTA, R. C. Principles and Application of Magnetic Resonance Imaging (MRI). In: DEWEY, C. W.; DA COSTA, R. C. (org.). **Practical Guide to Canine and Feline Neurology**. 3. ed. JohnWiley & Sons, 2016. p. 87139.

HECHT, S.; THOMAS, W. B.; MARIONI-HENRY, K.; ECHANDI, R. L.; MATTHEWS, A. R.; ADAMS, W. H. Myelography vs. Computed tomography in the evaluation of acute thoracolumbar intervertebral disk extrusion in chondrodystrophic dogs.

Veterinary Radiology & Ultrasound, v. 50, n. 4, p. 353–359, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2009.01549.x> Acesso em: 7 jan. 2021.

HENDEE, W. R.; EDWARDS, F. M. ALARA and an integrated approach to radiation protection. **Seminars in Nuclear Medicine**, v. 16, n. 2, p. 142–150, 1986. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/S0001-2998\(86\)80027-7](https://doi.org/10.1016/S0001-2998(86)80027-7)

HETTLICH, B. F. Vertebral Fracture and Luxation Repair. *In*: SHORES, A.; BRISSON, B. A. (org.). **Current Techniques in Canine and Feline Neurosurgery**. 1. ed. New Jersey: John Wiley & Sons, 2017. p. 657–693.

HETTLICH, B. F.; FOSGATE, G. T.; LEVINE, J. M.; YOUNG, B. D.; KERWIN, S. C.; WALKER, M.; GRIFFIN, J.; MAIERL, J. Accuracy of Conventional Radiography and Computed Tomography in Predicting Implant Position in Relation to the Vertebral Canal in Dogs. **Veterinary Surgery**, v. 39, n. 6, p. 680–687, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.2010.00697.x> Acesso em: 4 jul. 2022.

ISRAEL, S. K.; LEVINE, J. M.; KERWIN, S. C.; LEVINE, G. J.; FOSGATE, G. T. The relative sensitivity of computed tomography and myelography for identification of thoracolumbar intervertebral disk herniations in dogs. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 50, n. 3, p. 247–252, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2009.01528.x> Acesso em: 30 nov. 2021.

JEFFERY, N. D. Vertebral Fracture and Luxation in Small Animals. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 40, n. 5, p. 809–828, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.05.004>

KINNS, J.; MAI, W.; SEILER, G.; ZWINGENBERGER, A.; JOHNSON, V.; CÁCERES, A.; VALDÉS-MARTÍNEZ, A.; SCHWARZ, T. Radiographic sensitivity and negative predictive value for acute canine spinal trauma. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 47, n. 6, p. 563–570, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2006.00186.x> Acesso em: 6 mar. 2022.

KIRBERGER, R. M.; ROOS, C. J.; LUBBE, A. M. The radiological diagnosis of thoracolumbar disc disease in the dachshund. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 33, n. 5, p. 255–261, 1992. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.17408261.1992.tb00140.x> Acesso em: 21 jan. 2024.

LAMB, C. R.; NICHOLLS, A.; TARGETT, M.; MANNION, P. Accuracy of survey radiographic diagnosis of intervertebral disc protrusion in dogs. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 43, n. 3, p. 222–228, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2002.tb00994.x> Acesso em: 1 set. 2022.

LETESSON, J.; GOIN, B.; TROUILLET, J.-L.; BARTHEZ, P. Y. Long-Term Follow-Up of Dogs and Cats after Stabilization of Thoracolumbar Instability Using 2-0 UniLock Implants. **Veterinary Medicine International**, v. 2022, n. 5112274, p. 1–14, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1155/2022/5112274> Acesso em: 23 jul. 2023.

MACIAS, C.; MCKEE, W. M.; MAY, C.; INNES, J. F. Thoracolumbar disc disease in large dogs: a study of 99 cases. **Journal of Small Animal Practice**, v. 43, n. 10, p. 439–446, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2002.tb00010.x>

MAI, W. Magnetic Resonance Imaging and Computed Tomography Features of Canine and Feline Spinal Cord Disease. *In*: THRALL, D. E. (org.). **Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology**. 7. ed. St. Louis, Missouri: Elsevier, 2018. p. 271–304.

MEHLMAN, C. T.; DIPASQUALE, T. G. Radiation Exposure to the Orthopaedic Surgical Team During Fluoroscopy: “How Far Away Is Far Enough?” **Journal of Orthopaedic Trauma**, v. 11, n. 6, p. 392–398, 1997. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/00005131-199708000-00002> Acesso em: 27 abr. 2020.

MEISINGER, Q. C.; STAHL, C. M.; ANDRE, M. P.; KINNEY, T. B.; NEWTON, I. G. Radiation Protection for the Fluoroscopy Operator and Staff. **American Journal of Roentgenology**, v. 207, n. 4, p. 745–754, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2214/ajr.16.16556>

MOORE, S. A.; EARLY, P. J.; HETTLICH, B. F. Practice patterns in the management of acute intervertebral disc herniation in dogs. **Journal of Small Animal Practice**, v. 57, n. 8, p. 409–415, 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jsap.12496>

MUHLBAUER, M. C.; KNELLER, S. K. **Radiography of the Dog and Cat**. 2. ed. Hoboken, NJ: Wiley-Blackwell, 2023.

MULLINS, R. A.; RUPERÉZ, J. E.; BLEEDORN, J.; HOEY, S.; HETZEL, S.; ORTEGA, C.; KRAUS, K. H.; GUEVAR, J. Accuracy of pin placement in the canine thoracolumbar spine using a free-hand probing technique versus 3D-printed patient-specific drill guides: An ex-vivo study. **Veterinary Surgery**, v. 52, n. 5, p. 648–660, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/vsu.13958> Acesso em: 22 jan. 2024.

NELSON, N. C. Imaging of the Spine. *In*: BERRY, C. R.; NELSON, N. C.; WINTER, M. D. (org.). **Atlas of Small Animal Diagnostic Imaging**. 1.ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons, 2023. p. 213–252.

NEWCOMB, B.; ARBLE, J.; ROCHAT, M.; PECHMAN, R.; PAYTON, M. Comparison of Computed Tomography and Myelography to a Reference Standard of Computed Tomographic Myelography for Evaluation of Dogs with Intervertebral Disc Disease. **Veterinary Surgery**, v. 41, n. 2, p. 207–214, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.2011.00911.x> Acesso em: 9 jan. 2020.

NOWAK, L.; GRAPES, N.; DE DECKER, S. Influence of Breed and Body Conformation on Vertebral Implant Insert Angles in Dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 06, n. 02, p. e136–e142, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1055/s-0043-1774374> Acesso em: 22 jan. 2024.

OLBY, N. The Pathogenesis and Treatment of Acute Spinal Cord Injuries in Dogs. **Veterinary Clinics: Small Animal Practice**, v. 40, n. 5, p. 791–807, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.cvsm.2010.05.007>

OLBY, N. J.; MOORE, S. A.; BRISSON, B.; FENN, J.; FLEGEL, T.; KORTZ, G.; LEWIS, M.; TIPOLD, A. ACVIM consensus statement on diagnosis and management of acute canine thoracolumbar intervertebral disc extrusion. **Journal of Veterinary**

Internal Medicine, v. 36, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/jvim.16480>
Acesso em: 28 ago. 2022.

PARRY, A. T.; HARRIS, A.; UPJOHN, M. M.; CHANDLER, K.; LAMB, C. R. Does choice of imaging modality affect outcome in dogs with thoracolumbar spinal conditions? **Journal of Small Animal Practice**, v. 51, n. 6, p. 312–317, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2010.00936.x> Acesso em: 21 jan. 2021.

RAMPERSAUD, Y. R.; FOLEY, K. T.; SHEN, A. C.; WILLIAMS, S.; SOLOMITO, M. Radiation Exposure to the Spine Surgeon During Fluoroscopically Assisted Pedicle Screw Insertion. **Spine**, v. 25, n. 20, p. 2637–2645, 2000. Disponível em: <https://doi.org/10.1097/00007632-200010150-00016>

REYNOLDS, D.; BRISSON, B. A.; NYKAMP, S. G. Agreement between magnetic resonance imaging, myelography, and surgery for detecting recurrent, thoracolumbar intervertebral disc extrusion in dogs. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 26, n. 01, p. 12–18, 2013. Disponível em: <https://doi.org/10.3415/vcot-12-05-0067> Acesso em: 7 jan. 2021.

RIPPLINGER, A.; WRZESINKI, M. R.; RAUBER, J. S.; SCHWAB, M. L.; FERRARIN, D. A.; BAUMHARDT, R.; AIELLO, G.; BECKMANN, D. V.; MAZZANTI, A. Functional outcome in dogs undergoing hemilaminectomy for thoracolumbar disc extrusion but without nociception >96 h: A prospective study. **The Veterinary Journal**, v. 292, n. 105951, p. 105951, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2023.105951>
Acesso em: 22 jan. 2024.

ROBERTSON, I.; THRALL, D. E. Imaging dogs with suspected disc herniation: pros and cons of myelography, computed tomography, and magnetic resonance. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 52, n. 1, p. 81–84, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1740-8261.2010.01788.x>

RODACKI, M.; JUNIOR, J. A. V.; TASQUETI, U. I.; PIMPÃO, C. T.; PRADO, A. M. B. do. Epidemiological aspects of myelography in dogs: 61 cases (2003–2012). **Semina: Ciências Agrárias**, v. 35, n. 6, p. 3191–3204, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.5433/1679-0359.2014v35n6p3191> Acesso em: 22 jan. 2020.

ROS, C.; DE LA FUENTE, C.; RODENAS, S.; NOVELLAS, R.; VIU, J.; AÑOR, S. Myelographic and low-field magnetic resonance imaging findings in dogs with presumptive acute hydrated non-compressive nucleus pulposus extrusion. **Veterinary Record**, v. 181, n. 22, p. 594–599, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/vr.104201> Acesso em: 22 mar. 2022.

ROSSI, G.; STACHEL, A.; LYNCH, A. M.; OLBY, N. J. Intervertebral disc disease and aortic thromboembolism are the most common causes of acute paralysis in dogs and cats presenting to an emergency clinic. **Veterinary Record**, v. 187, n. 10, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1136/vr.105844>

SAMER, E. S.; FORTERRE, F.; RATHMANN, J. M. K.; STEIN, V. M.; PRECHT, C. M.; GUEVAR, J. Accuracy and Safety of Image-Guided Freehand Pin Placement in Canine Cadaveric Vertebrae. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and**

Traumatology, v. 34, n. 05, p. 338–345, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1055/s-0041-1731808> Acesso em: 4 jul. 2022.

SANDE, R. D. Radiography, Myelography, Computed Tomography, and Magnetic Resonance Imaging of the Spine. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 22, n. 4, p. 811–831, 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0195-5616\(92\)50078-x](https://doi.org/10.1016/s0195-5616(92)50078-x) Acesso em: 25 fev. 2020.

SANTORO, M. B.; ARIAS, M. V. B. Complicações observadas em cães e gatos com doenças neurológicas. **Pesquisa Veterinária Brasileira**, v. 38, n. 6, p. 1159–1171, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-5150-pvb-4968>

SCHWAB, M. L.; RIPPLINGER, A.; AIELLO, G.; FERRARIN, D. A.; COLVERO, A. C.; RAUBER, J.; SIMON, S.; WRZESINSKI, M. R.; MAZZANTI, A. Proposta de sequenciamento das projeções mielográficas na identificação de compressão da medula espinhal em cães com doença do disco intervertebral cervical. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 72, n. 4, p. 1206–1212, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/1678-4162-11005> Acesso em: 25 maio. 2021.

SHORES, A. Spinal Trauma. **Veterinary Clinics of North America: Small Animal Practice**, v. 22, n. 4, p. 859–888, 1992. Disponível em: [https://doi.org/10.1016/s0195-5616\(92\)50080-8](https://doi.org/10.1016/s0195-5616(92)50080-8) Acesso em: 10 jan. 2020.

SIMPSON, S. A.; SYRING, R.; OTTO, C. M. Severe blunt trauma in dogs: 235 cases (1997-2003). **Journal of Veterinary Emergency and Critical Care**, v. 19, n. 6, p. 588–602, 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1476-4431.2009.00468.x>

SURAN, J. N.; DURHAM, A.; MAI, W.; SEILER, G. S. Contrast enhancement of extradural compressive material on magnetic resonance imaging. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 52, n. 1, p. 10–16, 2011. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/21322382/> Acesso em: 22 fev. 2020.

TANAKA, H.; NAKAYAMA, M.; TAKASE, K. Usefulness of Myelography with Multiple Views in Diagnosis of Circumferential Location of Disc Material in Dogs with Thoracolumbar Intervertebral Disc Herniation. **Journal of Veterinary Medical Science**, v. 66, n. 7, p. 827–833, 2004. Disponível em: <https://doi.org/10.1292/jvms.66.827> Acesso em: 13 out. 2022.

THRALL, D. E.; WIDMER, W. R. Radiation Protection and Physics of Diagnostic Radiology. In: THRALL, D. E. (org.). **Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology**. 7. ed. St. Louis, Missouri: Elsevier, 2018. p. 2–22.

VALLEFUOCO, R.; MANASSERO, M.; LEPERLIER, D.; SCOTTI, S.; VIATEAU, V.; MOISSONNIER, P. Surgical repair of thoraco-lumbar vertebral fracture-luxations in eight cats using screws and polymethylmethacrylate fixation. **Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology**, v. 27, n. 04, p. 306–312, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3415/vcot-13-08-0098> Acesso em: 4 jul. 2022.

VIJAYESWARAN, N.; VENKATESH, R.; MURUGESAN, G.; BALAMURUGAN, S.; INDUNESH, K.; PRADEEP, T. T. Is Freehand Technique of Pedicle Screw Insertion in Thoracolumbar Spine Safe and Accurate? Assessment of 250 Screws. **Journal of**

Neurosciences in Rural Practice, v. 10, n. 02, p. 256–260, 2019. Disponível em: https://doi.org/10.4103/jnpr.jnpr_183_18 Acesso em: 22 fev. 2020.

WATINE, S.; CABASSU, J. P.; CATHELAND, S.; BROCHIER, L.; IVANOFF, S. Computed tomography study of implantation corridors in canine vertebrae. **Journal of Small Animal Practice**, v. 47, n. 11, p. 651–657, 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1748-5827.2006.00070.x> Acesso em: 11 jan. 2023.

WEH, J. M.; KRAUS, K. H. Vertebral fractures, luxations, and Subluxations. *In*: JOHNSTON, S.; TOBIAS, K. (org.). **Veterinary Surgery: Small Animal**. 2. ed.: Elsevier Saunders, 2018. p. 1577–1627.

WHEELER, J. L.; CROSS, A. R.; RAPOFF, A. J. A comparison of the accuracy and safety of vertebral body pin placement using a fluoroscopically guided versus an open surgical approach: An in vitro study. **Veterinary Surgery**, v. 31, n. 5, p. 468–474, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1053/jvet.2002.33616> Acesso em: 23 set. 2021.

WHEELER, J. L.; LEWIS, D. D.; CROSS, A. R.; SEREDA, C. W. Closed Fluoroscopic-Assisted Spinal Arch External Skeletal Fixation for the Stabilization of Vertebral Column Injuries in Five Dogs. **Veterinary Surgery**, v. 36, n. 5, p. 442–448, 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1111/j.1532-950x.2007.00290.x> Acesso em: 22 fev. 2020.

WIDMER, W. R.; THRALL, D. E. Canine and Feline Vertebrae. *In*: THRALL, D. E. (org.). **Textbook of Veterinary Diagnostic Radiology**. 7. ed. St, Louis, Missouri: Elsevier, 2018. p. 249–270.

WIESCHHOFF, G. G.; MISKIN, N. P.; KIM, J. S.; HAMBERG, L. M.; MANDELL, J. C. Radiation dose of fluoroscopy-guided versus ultralow-dose CT-fluoroscopy-guided lumbar spine epidural steroid injections. **Skeletal Radiology**, v. 51, p. 1055–1062, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s00256-021-03920-7> Acesso em: 28 jan. 2022.

YAYLA, S.; ALTAN, S.; ÇATALKAYA, E.; KANAY, B. E.; SAYLAK, N.; KILINÇ, M. Retrospective Evaluation of Spinal Trauma Treatments in 58 Cats and 12 Dogs. **International Journal of Veterinary and Animal Research (IJVAR)**, v. 6, n. 1, p. 23–27, 2023. Disponível em: <https://ijvar.org/index.php/ijvar/article/view/575> Acesso em: 22 jan. 2024.

ZARDO, K. M.; PROVASI, A.; SELMI, A. L.; ANDRADE NETO, J. P. Contribuição das projeções oblíquas em mielografias de pequenos animais para a localização de lesões medulares causadas por processo degenerativo do disco intervertebral. **Ciência Rural**, v. 40, n. 11, p. 2324–2331, 2010. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/s0103-84782010001100012> Acesso em: 2 jan. 2022.