

MARÍLIA DE ALBUQUERQUE BONELLI

**AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA
INTRAOPERATÓRIA DE AFECÇÕES DO CANAL
VERTEBRAL E ESTRUTURAS DO SISTEMA NERVOSO
EM CÃES**

RECIFE

2013

**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA VETERINÁRIA**

MARÍLIA DE ALBUQUERQUE BONELLI

**AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA
INTRAOPERATÓRIA DE AFECÇÕES DO CANAL
VERTEBRAL E ESTRUTURAS DO SISTEMA NERVOSO
EM CÃES**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciência Veterinária do Departamento de Medicina Veterinária da Universidade Federal Rural de Pernambuco como requisito final para obtenção do grau de Mestre em Ciência Veterinária.

Orientador:

Prof. Dr. Eduardo Alberto Tudury

Co-orientador:

Prof. Dr. Fabiano Séllos Costa

RECIFE - PE

2013

Ficha catalográfica

B712a Bonelli, Marília de Albuquerque
Avaliação ultrassonográfica intraoperatória de afecções do canal
vertebral e estruturas do sistema nervoso em cães / Marília de
Albuquerque Bonelli. -- Recife, 2013.
48 f. : il.

Orientador: Eduardo Alberto Tudury.
Dissertação (Mestrado em Ciência Veterinária) –
Universidade Federal Rural de Pernambuco, Departamento de
Medicina Veterinária, Recife, 2013.
Referência.

1. Neurologia 2. Medula espinhal 3. Ultrassonografia I. Tudury,
Eduardo Alberto, orientador II. Título

CDD 636.089

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA VETERINÁRIA

**AVALIAÇÃO ULTRASSONOGRÁFICA INTRAOPERATÓRIA DE
AFECÇÕES DO CANAL VERTEBRAL E ESTRUTURAS DO
SISTEMA NERVOSO EM CÃES**

Dissertação de Mestrado elaborada por
MARÍLIA DE ALBUQUERQUE BONELLI

Aprovada em/...../.....

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. EDUARDO ALBERTO TUDURY
Orientador – Departamento de Medicina Veterinária da UFRPE

Prof. Dr. FABIANO SÉLLOS COSTA
Departamento de Medicina Veterinária da UFRPE

Prof. Dr. MARCELO MORAES VALENÇA
Departamento de Neuropsiquiatria da UFPE

Prof^{ta}. Dra. MARIA CRISTINA DE OLIVEIRA CARDOSO COELHO
Departamento de Medicina Veterinária da UFRPE

Prof^{ta}. Dra. NEUZA DE BARROS MARQUES
Unidade Acadêmica de Garanhuns da UFRPE

DEDICATÓRIA

Aos meus pais, por serem os exemplos que tento seguir...

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, que sempre me apoiaram ao longo desta jornada;

Aos membros agregados da minha família, por sempre lembrarem de mim quando volto para casa;

À minhas primas Juliana, Isa, Marina, Lorena e Tainá, que sempre fizeram o melhor para me distrair quando eu precisava;

Ao meu orientador Professor Eduardo Alberto Tudury pela oportunidade que tive de aprender durante esses anos;

Ao meu auto-denominado “fantástico” co-orientador Fabiano Séllos Costa, por ter me acolhido na área de imagem e depositado confiança em mim;

À Cássia, pela amizade, semelhança e apoio em todos os momentos, principalmente nos difíceis;

À Marcella e Thaíza, pela convivência e amizade fora da faculdade, e por serem pessoas “agoniadas”;

Aos pós-graduandos da equipe, colegas de jornada, Amanda, Bruno, Camila, Durval e Amaro pela ajuda durante a realização deste projeto, e por serem verdadeiramente uma equipe;

Às estagiárias e ex-estagiárias: Isabel, Marcela (Baby), Rosângela e Emília (ruivinha), por estarem sempre dispostas a ajudar;

À Telga, por saber mais do que deveria e sempre tirar minhas dúvidas de patologia clínica;

Ao pessoal do Labhum, particularmente Simone, Maína, Clara, Willi, Carol, Camila (que não é Dani) e profinha Rozélia, por terem trazido uma Valfenda à vida.

À equipe do CESADI (Nathália, Ieverton, Debora, Albeline) e milhares de estagiários, pela força coletiva lá no início, principalmente;

Ao pessoal do bloco, Ilma, Vera, Josi, por ajudarem, mesmo quando reclamam;

À Ana Katarina, do COMUT, pela ajuda em lidar com a “nova versão” do portal da capes;

À Rose, que ajudou com a correção do artigo;

À Lana, pela ajuda com as coisas burocráticas da pós;

E à todos os olhinhos tristonhos que nos pedem ajuda sem nunca dizer uma palavra, e nos agradecem com olhares que nunca nenhuma palavra poderia descrever.

“If knowledge can create problems,
it is not through ignorance that we
can solve them”.

(Isaac Asimov)

RESUMO

Título: Avaliação ultrassonográfica intraoperatória de afecções do canal vertebral e estruturas do sistema nervoso em cães

Autora: Marília de Albuquerque Bonelli

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Alberto Tudury

Co-orientador: Prof. Dr. Fabiano Séllos Costa

A ultrassonografia intraoperatória é capaz de fornecer detalhes sobre várias condições espino-medulares, como: doença do disco intervertebral (DDIV), estenose do canal vertebral, fraturas vertebrais e presença de corpos estranhos ou neoplasias no canal vertebral. Objetivou-se avaliar a viabilidade, vantagens e desvantagens da utilização da ultrassonografia intraoperatória em 18 cães submetidos à cirurgia devido a DDIV, fraturas ou luxações vertebrais, neoplasias espinais, e compressões da cauda equina. Dez cães foram operados para remoção de material discal extrusado, três para estabilização de fraturas e luxações vertebrais, três para descompressão de cauda equina e dois para remoção de neoplasia. Atenção especial foi dada aos sinais de compressão, tais como visibilização do canal central e falta de paralelismo das linhas hiperecoicas que representam as meninges e o canal central. Verificou-se que a ultrassonografia é proveitosa em cães submetidos à cirurgia para descompressão de medula espinal ou cauda equina e estabilização de fraturas. A utilização de ultrassonografia intraoperatória para localização da compressão não é imprescindível quando uma localização já foi obtida com tomografia computadorizada (TC), mas demonstrou alteração no parênquima da medula espinal em quatro cães que não havia sido observada à TC. Além disso, confirmou uma descompressão adequada da medula espinal. As desvantagens observadas foram principalmente relacionadas a agendamento do exame. As principais vantagens da ultrassonografia intraoperatória foram a capacidade de estimar a vascularização e a extensão da lesão à medula espinal. E mais importante, permitiu a avaliação em tempo real da medula espinal e condições relacionadas ao canal vertebral, o que permite a modificação do procedimento cirúrgico.

Palavras chave: neurologia, ultrassonografia, medula espinal, cauda equina.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA VETERINÁRIA

Dissertação de Mestrado em Ciência Veterinária

Recife, fevereiro de 2013

ABSTRACT

Title: Intraoperative ultrasonographic evaluation of alterations of the spinal cord and vertebral canal in dogs

Author: Marília de Albuquerque Bonelli

Advisor: Professor Dr. Eduardo Alberto Tudury

Co-Advisor: Prof. Dr. Fabiano Séllos Costa

Intraoperative ultrasound can provide details on various conditions of the spinal cord and vertebral canal, such as: intervertebral disc disease (IVDD), stenosis of the vertebral canal, vertebral fractures, neoplasia, and foreign bodies in the vertebral canal. Our objective was to evaluate the feasibility, advantages and disadvantages of using intraoperative ultrasound in dogs undergoing spinal surgery. The vertebral canal of 18 dogs was examined with intraoperative ultrasonography. Ten dogs underwent spinal surgery for removal of herniated intervertebral disc material, three for stabilization of vertebral fracture and luxation, three for decompression of cauda equina, and two for removal of vertebral neoplasia. Particular attention was given to signs of cord compression, such as inability to visualize the central canal and unevenness of the hyperechoic lines that represent the meninges and the central canal. We found that intraoperative ultrasonography was feasible and useful in dogs undergoing surgery for spinal cord or cauda equina decompression and fracture stabilization. The use of intraoperative ultrasound for localization of the compressive material was not paramount when a location had been obtained via computed tomography (CT), but it showed alterations in spinal cord parenchyma in four dogs not observed on CT. Furthermore, it successfully confirmed adequate decompression of the spinal cord. Disadvantages were mainly related to scheduling. The principle advantages of intraoperative ultrasonography were: estimation of vascularization and extent of spinal cord lesion. Most importantly, it allowed real time evaluation of the spinal cord and conditions related to the vertebral canal, which permits modification of the surgical procedure.

Key words: neurology, ultrasound, spinal cord, cauda equina.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA VETERINÁRIA

Master's Dissertation in Veterinary Science

Recife, February 2013

LISTA DE FIGURAS

Revisão de Literatura	Pág.
Figura 1: Imagem ultrasonográfica sagital da medula espinhal normal de um cão ao nível de L1–2 após hemilaminectomia. d, dura-máter; p, pia-máter e superfície da medula espinhal; c, canal central; D, disco intervertebral. Presença de vasos intramedulares na janela do Doppler window. Fonte: Nanai et al., 2007.....	20
Experimento	
Figura 1: Sagittal ultrasonographic view following hemilaminectomy at L ₂₋₃ showing an extruded intervertebral disc (arrow). Note the hyperechogenicity present at the area of spinal cord compression, deviation of the ventral meningeal line, and lack of visualization of the central canal.....	37
Figura 2: Same dog as Fig. 1, after removal of the extruded disc material. The central canal (arrow) can be visible just caudal to the still present hyperechoic area. At the moment of image capture, color Doppler is not showing any intramedullary vessels.....	37
Figura 3: Sagittal ultrasonographic image of the spinal cord of a dog with a T ₁₁₋₁₂ fracture following laminectomy. Note the heterogenous hyperechoic image identified as fibrosis (arrow) caudal to the hypoechoic spinal cord. In red, vascularization seen with color Doppler.....	39
Figura 4: Sagittal ultrasonographic image of the spinal cord after laminectomy at L ₅ , showing the spinal cord as it is dislocated dorsally by an altered and hypoechoic vertebral body due to neoplasia. Note that the central canal is no longer visible directly over the compression.....	40

LISTA DE TABELAS

Experimento	Pág.
Tabela 1: Initial findings during intraoperative ultrasonographic exam in ten dogs with intervertebral disc extrusion. Site of extrusion and degree of preoperative nociception are also listed.....	38
Tabela 2: Intraoperative findings during second ultrasonographic exam in ten dogs with intervertebral disc extrusion.....	38
Tabela 3: Intraoperative ultrasonographic findings in three dogs with fracture/luxation of the thoracolumbar spine after decompression and/or reduction and stabilization. Time since trauma, location of fracture and degree of preoperative nociception are also listed.....	40
Tabela 4: Intraoperative ultrasonographic findings in three dogs after decompression of cauda equina via laminectomy. Time since trauma is also listed.....	41

SUMÁRIO

1 Introdução.....	12
2 Revisão de literatura.....	14
3 Referências	28
4 Experimento.....	33
Title, authors and summary.....	34
Introduction.....	35
Material and methods.....	35
Results.....	37
Discussion.....	41
References.....	47

1. INTRODUÇÃO

Apesar da ultrassonografia ser amplamente utilizada na medicina veterinária, seu uso para diagnosticar afecções da medula espinal é pouco realizada, já que o tecido ósseo oferece uma barreira para a propagação da onda sonora (TANAKA et al., 2005). Para possibilitar a realização do exame ultrassonográfico, torna-se necessária a realização de uma espondilectomia ventral, laminectomia dorsal ou hemilaminectomia. A ultrassonografia intraoperatória da medula espinal permite visibilizar a anatomia local, auxiliando na avaliação de descompressão medular ou alinhamento de corpos vertebrais (NAKAYAMA, 1993).

A ultrassonografia intraoperatória pode oferecer oportunidades diagnósticas em várias mielopatias, e providenciar informações valiosas sobre a estrutura da medula espinal ou diâmetro do canal central. Pode ainda ajudar a localizar e definir lesões intramedulares, e guiar o cirurgião durante realização de biópsia aspirativa de lesões nesse órgão para análises citopatológicas (NANAI et al., 2006). Permite avaliar se houve a remoção completa do material (proveniente de discos intervertebrais comprometidos) presente no interior do canal vertebral, observar delimitações de neoplasias espinais ou mesmo identificar presença de edema da medula espinal (GALLAGHER et al., 1995). Em animais com cistos aracnóides, permite a visibilização da estrutura do cisto, além da integridade da medula espinal adjacente. Na ausência de aparelhos de ressonância magnética (RM) e tomografia computadorizada (TC), a ultrassonografia é considerada a melhor opção para avaliação direta do canal vertebral e da medula espinal quanto à presença de alterações (GALLOWAY et al., 1999).

Na medicina humana, é usada para avaliar compressão medular (discos herniados, estenose do canal vertebral, fraturas vertebrais, corpos estranhos no canal vertebral), visibilizar mielopatia pós-traumática, tumores intra ou extramedulares, infecções e lesões congênitas, sendo utilizada após abertura do canal vertebral (MONTALVO & FALCONE, 1999; NANAI et al., 2007).

A avaliação intraoperatória com ultrassonografia permite alterar o curso da neurocirurgia, demonstrando a necessidade de se estender uma hemilaminectomia, fenestrar mais discos do que planejado inicialmente e remoção de resíduos discais (NANAI et al., 2007). Além disso, por ser um método de visualização não invasivo que pode revelar condições intra e extradurais, proporciona um procedimento cirúrgico mais seguro e preciso (TANAKA et al., 2005).

Objetivou-se avaliar a viabilidade, vantagens e desvantagens da utilização da ultrassonografia intraoperatória em 18 cães submetidos à cirurgia devido a doença do disco intervertebral (DDIV), fraturas ou luxações vertebrais, neoplasias espinais, e compressões da cauda equina.

Esta dissertação é inicialmente composta de uma revisão de literatura sobre o assunto, seguida da parte experimental, que está redigida na forma de artigo científico de acordo com as normas de publicação do periódico *Veterinary Radiology & Ultrasound*.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Princípios básicos da formação da imagem ultrassonográfica

2.1.1. Produção do ultrassom

A ultrassonografia utiliza ondas sonoras de alta frequência para produzir imagens. Podem ser utilizadas frequências de 2 a 15 MHz, todas bem acima do que é audível pelo ser humano (MANNION, 2006).

Idealmente, pelo menos dois planos são necessários para o estudo da imagem, sendo geralmente o sagital, em sentido longitudinal, e o transverso (KEALY e McALLISTER, 2005).

No caso da ultrassonografia diagnóstica, os transdutores são a parte do aparelho responsável pela conversão de energia elétrica em ondas sonoras e pela recepção dos ecos refletidos, ambos por meio de um efeito chamado piezoelectricidade (RUMACK et al., 2006). Isso ocorre pela presença de cristais piezoelétricos dentro dos transdutores. O efeito piezoelétrico ocorre quando esses cristais sofrem influência de uma voltagem ou diferença de potencial e se deformam. Uma onda sonora resulta então desta mudança de forma ou distorção. O efeito inverso ocorre quando os ecos retornam ao transdutor, e este gera sinais elétricos que são interpretados pelo aparelho de ultrassom (MANNION, 2006).

As imagens exibidas no monitor são construídas a partir dos ecos que retornam, tendo seu brilho afetado pela intensidade destes ecos. A profundidade da estrutura que produz os ecos de retorno determina a posição dos pontos na imagem em relação à posição do transdutor (DROST, 2010).

2.1.2. Exibição da imagem ultrassonográfica

Os ecos de retorno podem ser exibidos em diversos modos: modo-A (amplitude), modo-B (brilho), e modo-M (movimento). No modo-A, os ecos são representados por picos de voltagem em um traçado linear, onde a intensidade do eco é caracterizada pela sua amplitude em uma escala de profundidade (KEALY e

McALLISTER, 2005). De forma geral, o modo-B é o mais utilizado no diagnóstico por imagem. Nesse modo, as imagens são compostas por uma série de pontos, cujo brilho corresponde diretamente à intensidade do eco de retorno. No modo-M, a região avaliada é representada a partir dos ecos de retorno do modo-B na forma de um traçado em relação ao tempo, com profundidade no eixo vertical e tempo no eixo horizontal, permitindo uma melhor caracterização da movimentação observada (DROST, 2010).

A ultrassonografia Doppler utiliza a mudança de frequência do som refletido nas células sanguíneas em movimento dentro dos vasos à medida que se aproximam ou se afastam do transdutor (KEALY e McALLISTER, 2005).

2.1.3. Terminologias usadas para ultrassonografia

O termo ecotextura diz respeito ao padrão de imagem do tecido examinado, onde um tecido pode ser homogêneo ou heterogêneo (KEALY e McALLISTER, 2005). Já o termo ecogenicidade se refere ao nível de cinza de um tecido, e é determinada pelo brilho e concentração de pontos na tela, onde cada ponto representa um eco de retorno (BESSO, 2012). Utiliza-se o termo anecoico quando um meio não produz ecos, gerando uma imagem escura. O termo hipoecoico é utilizado quando há presença de ecos esparsos, gerando uma imagem em escala de cinza. Já o termo hiperecoico é utilizado quando ocorre reflexão intensa do som, produzindo ecos brilhantes em cor branca (CARVALHO, 2004).

2.2. Ultrassonografia da medula espinal

2.2.1. Uso na medicina humana

A ultrassonografia intraoperatória do sistema nervoso central (englobando cérebro e medula espinal) começou a ser utilizada na medicina humana no início da década de 80, surgindo inicialmente como um método para localizar pequenas lesões no encéfalo (DOHRMANN e RUBIN, 1981).

No ano seguinte, foi relatado seu uso na colocação de catéteres ventriculares e realização de biópsias de neoplasias cerebrais. Os cirurgiões fizeram uso da ultrassonografia através da craniotomia para visibilizar o cérebro em tempo real e acompanhar a introdução e posicionamento correto dos catéteres ventriculares, além de

confirmar o local correto para coleta da biópsia de tecido tumoral. Cita-se a ultrassonografia como uma alternativa ao método de estereotaxia, pois eliminaria erros decorrentes de posicionamento, além de prover imagens do cérebro a partir do ponto de vista do próprio cirurgião. Seria possível ainda, a observação de possíveis complicações, como hemorragias, no momento em que ocorressem (RUBIN e DOHRMANN, 1982).

Nesse mesmo ano, ocorreu o primeiro relato da utilização da ultrassonografia intraoperatória para visualização da medula espinal na medicina humana, tendo como objetivo a obtenção de um método de visualização dos componentes intradurais antes da abertura da dura-máter, assim como um modo de explorar a medula espinal sem mielotomia (DOHRMANN e RUBIN, 1982).

A literatura cita diversas indicações para a realização da ultrassonografia intraoperatória, podendo ser utilizada para a abordagem de lesões que comprimem ou fixam elementos neurais, e para orientação de procedimentos como biópsias, drenagens e derivações (MONTALVO e FALCONE, 1999).

Tem-se relatado o benefício da ultrassonografia intraoperatória da medula espinal em cirurgias envolvendo neoplasias (QUENCER et al., 1984a; IMAMURA et al., 1987; REGELSBERGER et al., 2005; SAKANISHI et al., 2006);iringomielia (IMAMURA et al., 1987; QUENCER et al., 1987; MILLER e MICHAEL, 2008); cistos (QUENCER et al., 1984b; IMAMURA et al., 1987; SKLAR et al., 1989); remoção de material de disco (MONTALVO et al., 1990; IMAMURA et al., 1995); e fraturas (QUENCER et al., 1985). Além disso, em recém-nascidos, devido à ossificação incompleta da porção dorsal das vértebras caudais, a ultrassonografia espinal é utilizada para triagem de disrafismos espinais (HENRIQUES et al., 2004).

2.2.3. Uso na medicina veterinária

Os estudos abordando a ultrassonografia intraoperatória em cães são escassos. É relatado que, em decorrência da limitação da observação direta da medula espinal durante o procedimento cirúrgico da coluna vertebral, a ultrassonografia intraoperatória possibilita verificar a extensão de lesões medulares, guiar outros procedimentos diagnósticos, auxiliar nas tomadas de decisões cirúrgicas e avaliar o resultado imediato da descompressão medular (NANAI et al., 2007).

Além da realização do exame ultrassonográfico intraoperatório para avaliação dos componentes do canal vertebral, a ultrassonografia pode ser utilizada em casos em que o paciente não é submetido à cirurgia, como em casos de tumores de corpos vertebrais, discoespondilite e abscessos paravertebrais. Pode também ser utilizada após o procedimento cirúrgico, para avaliação pós-operatória do local da cirurgia (KRAMER et al., 2012).

2.2.4. Vantagens e limitações

A ultrassonografia é um método de diagnóstico por imagem mais acessível aos veterinários em geral do que a tomografia computadorizada ou ressonância magnética (RM) (NAKAYAMA, 1993). No seu uso quanto ao estudo da medula espinal, tem apresentado uma boa correlação com os achados de ressonância magnética (TANAKA et al., 2006), chegando a ser considerada como tendo sensibilidade equivalente e às vezes superior à ressonância magnética na identificação de lesões da medula espinal, provavelmente devido à qualidade dos aparelhos (MIRVIS e GEISLER, 1990).

Nas situações em que a tomografia computadorizada ou ressonância magnética não podem ser realizadas, a ultrassonografia intraoperatória pode ser particularmente útil (MIRVIS e GEISLER, 1990; GALLOWAY et al., 1999), mas a obtenção de bons exames de imagem pré-operatórios não exclui a necessidade do seu uso. Mesmo com todos os avanços feitos na área de imagem, o diagnóstico ainda é amplamente baseado nas observações macroscópicas feitas durante o procedimento cirúrgico (TANAKA et al., 2005).

Ao contrário dos outros métodos de imagem, a ultrassonografia fornece informações em tempo real sobre alterações na arquitetura da medula espinal e canal vertebral durante a cirurgia (NAKAYAMA, 1993). Ainda nesse contexto, permite avaliar lesões intradurais antes da incisão da dura-máter, e, na presença de alterações focais na medula espinal não claramente distinguíveis macroscopicamente, ajuda na delimitação e seleção do local para biópsia (TANAKA et al., 2006).

Outras vantagens da ultrassonografia são que é uma técnica não invasiva que pode ser utilizada para providenciar imagens de alta resolução de tecidos moles. O aparelho para ultrassonografia é de menor custo quando comparado ao de ressonância magnética, ambos em termos de custo inicial e a longo prazo. Além disso, não existem

contraindicações ao uso da ultrassonografia, os aparelhos são extremamente móveis, o tempo de varredura é rápido, ao passo que, no uso da RM, a presença de marca-passos e determinados implantes podem interferir com o exame, o tempo necessário pode ser demorado, e pacientes e amostras teciduais devem ser levados até o aparelho (NAISH et al., 2003).

Dentre as limitações do uso da ultrassonografia para avaliação da medula espinal estão sua restrição a casos cirúrgicos onde há abertura do canal vertebral, campo de visão limitado pela dimensão da janela vertebral (MIRVIS e GEISLER, 1990), além da interferência do diâmetro do transdutor na obtenção das imagens que possibilitem a visualização da medula espinal (FINN-BODNER et al., 1995; TANAKA et al., 2006). Janelas ósseas obtidas através de foraminotomias, fenestração, minihemilaminectomias ou corpectomias não são adequadas para o exame da medula espinal (KRAMER et al., 2012)

2.2.5. Procedimentos para realização do exame ultrassonográfico intraoperatório

Para visualização ultrassonográfica da medula espinal, deve ser removida primeiramente a cobertura óssea, pois o osso interfere na obtenção de imagens de boa qualidade já que atenua a maior parte do som (DOHRMANN e RUBIN, 1982). É necessária uma abertura óssea que meça pelo menos 1,5 cm por 1,0 cm para visualização adequada do canal medular e seu conteúdo. Além disso, outros tecidos além do osso podem interferir na transmissão do som, como, por exemplo, uma calcificação da dura-máter na parte dorsal, que irá interferir na visualização das estruturas ventrais à calcificação (MONTALVO e FALCONE, 1999).

A janela óssea pode ser obtida através de uma espondilectomia ventral (NAKAYAMA, 1993), laminectomia dorsal (NAKAYAMA, 1993; GALLOWAY et al., 1999; NANAI et al., 2006; TANAKA et al., 2006) ou hemilaminectomia (NAKAYAMA, 1993; TANAKA et al., 2005).

O local da cirurgia é preenchido, então, com solução fisiológica estéril morna (NAKAYAMA, 1993; TANAKA et al., 2005; TANAKA et al., 2006), que permite aumentar a distância entre a medula espinal e a superfície do transdutor, minimizando a formação de artefatos causados por reverberações imediatamente abaixo da superfície deste (DOHRMANN e RUBIN, 1982; GALLOWAY et al., 1999).

Para manter a esterilidade do campo operatório, o transdutor deve ser coberto com capa estéril preenchida com gel para ultrassonografia (TANAKA et al.,

2005). Sugere-se ainda que seja feita uma cobertura dupla do transdutor, sendo este introduzido primeiro em envoltório estéril preenchido com gel, depois sendo colocada outra cobertura estéril (preenchida também com gel estéril na sua extremidade), mas cobrindo o transdutor e também o cabo, sendo esta amarrada com elásticos estéreis (DOHRMANN e RUBIN, 1982; NANAI et al., 2006). Outra opção é colocar o transdutor dentro de uma luva cirúrgica estéril (área da palma) contendo gel de ultrassom estéril, e cobrir o corpo e o cabo do transdutor com atadura elástica estéril (FINN-BODNER et al., 1995). O gel serve como acoplador acústico entre o transdutor e a bainha estéril, possibilitando a propagação das ondas sonoras e formação da imagem (MONTALVO e FALCONE, 1999).

No momento do exame, o transdutor é então imerso na solução salina e posicionado a uma distância de aproximadamente 0,5 cm da medula espinal (NANAI et al., 2006). Quando possível, os coágulos e debris devem ser removidos antes da ultrassonografia para diminuir o efeito de massa e melhorar a qualidade da imagem (GALLAGHER et al., 1995).

2.2.6. Aparência Ultrassonográfica da Medula Espinal Normal

Em cães, a dura-máter, as bordas da medula espinal e o canal central desta foram identificados como linhas paralelas hiperecoicas com uma porção tubular central anecoica. Observa-se que a dura-máter apresenta-se levemente deslocada em direção à medula espinal à altura dos discos intervertebrais normais. O disco intervertebral aparece como efeito de massa hipocogênico ventral à dura-máter e as bordas da medula espinal e do canal central permanecem paralelos sobre os espaços do disco (Fig. 1) (NANAI et al., 2007).

Em alguns casos, o canal central pôde ser visto somente como um pequeno espaço anecoico cercado por duas interfaces hiperecoicas na imagem transversal, ou como uma linha central na imagem longitudinal. Quanto ao espaço subaracnóide, percebeu-se que o espaço mais distante parecia mais fino do que o mais próximo, provavelmente devido ao efeito da gravidade sobre o posicionamento da medula espinal dentro das camadas meníngeas (GALLAGHER et al., 1995). Entretanto, na mielografia, a coluna de contraste dorsal apresenta-se mais larga que a coluna ventral na região torácica caudal e lombar cranial (COULSON, 2008).

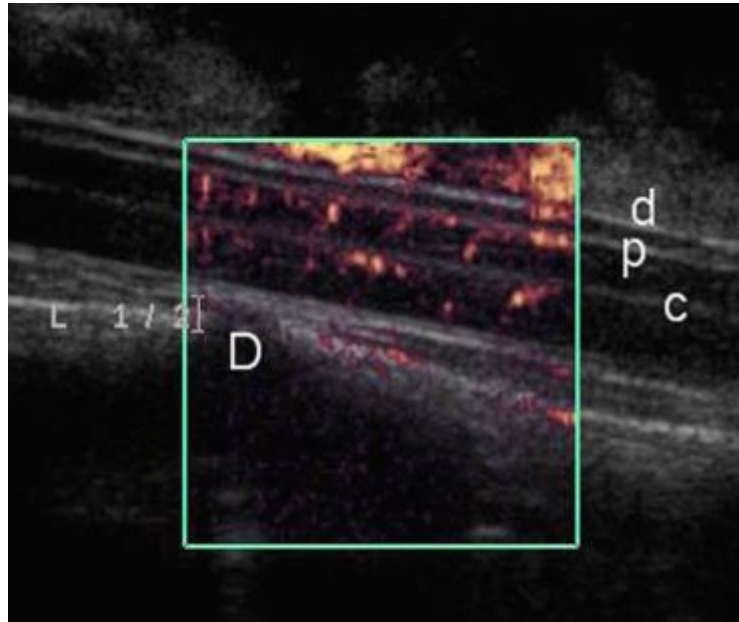


Figura 1: Imagem ultrasonográfica sagital da medula espinhal normal de um cão ao nível de L₁₋₂ após hemilaminectomia. d, dura-máter; p, pia-máter e superfície da medula espinhal; c, canal central; D, disco intervertebral. Presença de vasos intramedulares na janela do Doppler window. Fonte: Nanai et al., 2007.

As características anatômicas da medula espinhal em cães são similares ao descrito em humanos, mas é difícil identificar os ligamentos denticulados e a aracnóide, possivelmente devido ao menor tamanho da medula espinhal de cães em comparação à humana. Também não é possível diferenciar a substância branca da substância cinzenta (NAKAYAMA, 1993).

Um estudo *in vitro* com discos intervertebrais de cães encontrou bons resultados quanto à capacidade da ultrassonografia de identificar alterações estruturais. Neste experimento, a estrutura interna do disco foi claramente visibilizada: o ânulo fibroso hiperecoico, com um padrão de ecos lineares paralelos mostrando a estrutura lamelar nessas regiões, enquanto o núcleo gelatinoso aparece como hipoeicoico. Considerou-se que lesões estariam presentes em áreas que demonstrassem um padrão ou intensidade de ecos anormal relativo à aparência da seção de tecido circunvizinho (NAISH et al., 2003).

A aparência ultrassonográfica da medula espinal das regiões cervical e lombar é a mesma (NAKAYAMA, 1993), e não apresenta diferença quando comparada às descrições da medula espinal da região torácica (NANAI et al., 2007).

Na medula espinal normal, pode-se observar movimentos pulsáteis durante a sístole (NANAI et al., 2007) em sincronia com os batimentos cardíacos, que podem ser observados também em modo M (NAKAYAMA, 1993).

Pode-se ainda, visibilizar através do uso de Doppler de amplitude, a microcirculação da medula espinal e tecidos circunvizinhos (veias/artérias vertebrais, veias/artérias medulares, e suas comunicações) que aparecem bem definidas (NANAI et al., 2007).

2.2.7. Uso de Ultrassonografia em Situações Específicas

Normalmente, a primeira visibilização da medula espinal utilizando-se a ultrassonografia deve ser feita imediatamente após a remoção óssea, antecedendo qualquer outra manipulação cirúrgica, para servir como base para comparação com imagens obtidas posteriormente durante a cirurgia. O progresso da cirurgia é então acompanhado com a ultrassonografia, através da qual se pode verificar, por exemplo, a necessidade de maior ressecção óssea para aumentar o campo cirúrgico ou demonstrar resquícios tumorais que não haviam sido detectados. Uma avaliação ultrassonográfica final serve para confirmar remoção total de neoplasia ou descompressão de cauda equina antes de se suturar as camadas cirúrgicas (QUENCER et al., 1984a).

2.2.7.1. Aspiração da medula espinal guiada por ultrassom

A ultrassonografia intraoperatória pode ser utilizada para identificar locais passíveis de alterações, possibilitando procedimentos de coleta de material biológico guiado por ultrassom por punção aspirativa para análise citopatológica (NANAI et al., 2007).

2.2.7.2. Doença do disco intervertebral

A protrusão de um disco intervertebral é vista geralmente como uma convexidade hiperecoica localizada ventralmente à medula espinal. Essa convexidade foi vista como sendo correspondente ao grau de compressão percebido através da mielografia (NANAI et al., 2007). Uma protrusão leve de disco intervertebral pode ser

vista como uma linha hiperecoica ventral à medula espinal, e a protrusão pode ser acompanhada pela visualização de um desvio dorsal da medula após descompressão por laminectomia dorsal (NANAI et al., 2006).

A imagem ultrassonográfica pode facilitar a avaliação da eficácia da descompressão após laminectomia. Alguns autores consideram que o diâmetro uniforme da medula espinal sobre os discos intervertebrais, espaço livre entre os ligamentos ventrais e a medula espinal, canal central anecoico visível à imagem ultrassonográfica, movimentos pulsáteis da medula espinal durante sístole, e microcirculação intacta (verificados com Doppler) sejam bons indicadores de descompressão adequada (NANAI et al., 2006; NANAI et al., 2007).

À ultrassonografia intraoperatória, o disco intervertebral que sofreu extrusão pode ser visto como uma imagem hiperecogênica de pouca definição no canal vertebral, obscurecendo as bordas e canal central da medula espinal. Após a remoção do núcleo pulposo livre, o parênquima medular e canal central tornaram-se visíveis. A ultrassonografia intraoperatória pode permitir ainda a visualização de material de disco no lado oposto da medula em relação à abertura óssea, informação importante para o cirurgião. Além disso, a ultrassonografia pode avaliar os resultados após a descompressão cirúrgica (NANAI et al., 2007).

2.2.7.3. Tumores espinais ou vertebrais

A utilização de ultrassonografia intraoperatória pode contribuir para a cirurgia envolvendo neoplasias da medula espinal ou canal vertebral (QUENCER et al., 1984a).

Em geral, pode ser usada para identificar a presença de tumores intramedulares, assim como a localização e extensão de tumores extramedulares intradurais e tumores que tenham componentes intra e extradurais (DOHRMANN e RUBIN, 1982).

A ultrassonografia intraoperatória pode ainda identificar áreas de maior alargamento da medula (o que auxilia na escolha de local para biópsia ou demonstra necessidade de se estender uma laminectomia); mostrar a zona de transição entre uma massa intramedular e o tecido medular inalterado; delinear o tamanho e localização de massas extramedulares; confirmar se houve adequada remoção do tumor e descompressão da medula ou cauda equina; indicar necessidade de abrir a dura-máter

quando há extensão do tumor através desta ou quando a descompressão não foi suficiente para aliviar a pressão sobre a medula espinal (QUENCER et al., 1984a).

Em cães, neoplasias podem ser vistas como uma massa circunscrita hiperecoica dentro do parênquima da medula espinal; como uma massa extradural irregular, hipoecoica com estruturas císticas anecoicas; e pode ser difícil determinar se são intramedulares ou extramedulares-intradurais. A ultrassonografia geralmente identifica facilmente a extensão e invasividade dos tumores, e o seu uso facilita a determinação de neoplasia intra versus extramedular (NANAI et al., 2007).

Pode-se ainda utilizar a ultrassonografia, com uso do Doppler, para identificar a distribuição de vasos ao redor das neoplasias, facilitando sua exérese. A repetição da ultrassonografia durante a remoção tumoral ajuda a confirmar a remoção da área comprometida e a descompressão da medula espinal através da visibilização de linhas durais quase paralelas e do canal central (como linhas hiperecoicas duplas) (TANAKA et al., 2005).

2.2.7.4. Tumores de raiz nervosa

Podem ser vistos com ultrassonografia intraoperatória, podendo-se diferenciar o tecido nervoso normal do que sofreu alteração, sendo possível ainda analisar os plexos nervosos para avaliação destes e determinação da extensão do tecido afetado (NANAI et al., 2007).

2.2.7.5. Discoespondilite

Podem ser percebidas alterações em animais com discoespondilite, embora estas não sejam específicas, podendo ser similares às vistas em casos graves de protrusão de disco intervertebral (NANAI et al., 2007).

A observação de discoespondilite pode ser feita a partir de um exame ultrassonográfico pelo abdomen, sem necessidade de cirurgia (KRAMER et al., 2012).

2.2.7.6. Mielomalácia

A mielomalácia ocorre após lesão aguda à medula espinal. Em humanos, pode ser identificada por ecogenicidade heterogênea ou aumentada que oblitera o canal central e dificulta a visibilização das bordas da medula espinal (TANAKA et al., 2006). Um estudo em cães considerou como indicativo de mielomalácia um aumento nos ecos da medula comprimida em comparação à medula normal caudal à lesão, e a inabilidade

de visualização do canal central e das camadas finas, mas fortemente ecogênicas, normalmente vistas cobrindo a medula espinal dorsal e ventral, que representariam a pia-máter (GALLOWAY et al., 1999).

Em humanos, considera-se que a mielomalácia é caracterizada por uma área intramedular de ecotextura anormal com perda do eco central, com parênquima hipo ou hiperecoico em relação à medula normal, podendo conter microcistos, estando a medula ancorada por aderências fibrosas intradurais (MONTALVO e FALCONE, 1999).

Na medicina veterinária, relata-se que a mielomalácia é vista como uma lesão hiperecótica e mal definida no parênquima da medula espinal, com ausência de visualização do canal central (KRAMER et al., 2012).

A visualização de alterações indicativas de mielomalácia pode ser útil no estabelecimento do prognóstico do paciente (TANAKA et al., 2006).

2.2.7.7. Cistos

Cistos na medula espinal e componentes císticos de tumores podem ser identificados precisamente (DOHRMANN e RUBIN, 1982), facilitando sua drenagem, além de ajudar a identificar a extensão necessária da durotomia, o que pode ajudar a evitar trauma ao tecido espinal e limitar o tempo operatório (TANAKA et al., 2005).

Em trabalho realizado em cães possuindo cistos aracnóides, observou-se que a ultrassonografia intraoperatória foi útil para a definição da parede do cisto, caracterização da arquitetura interna da cavidade do cisto e da medula espinal. Ela possibilitou também medir a dimensão sagital do cisto e da medula espinal no local de maior compressão desta (GALLOWAY et al., 1999).

A ultrassonografia é excelente para distinguir cistos intramedulares e subaracnóides. Os cistos intramedulares pós-traumáticos são anecoicos à ultrassonografia, ocorrem em medulas atrofiadas, de tamanho normal ou aumentadas e podem ser septados. Cistos subaracnóides são vistos como acúmulos extramedulares anecoicos que deslocam a medula e podem ter septações fibrosas (MONTALVO e FALCONE, 1999).

2.2.7.8. Fragmentos

A ultrassonografia é efetiva em pacientes com fragmentos metálicos ou ósseos dentro do canal espinal, como por arma de fogo, localizando com rapidez a estrutura nesses casos, sendo útil também na avaliação e no tratamento de lesões

associadas, como cistos intramedulares ou subaracnóides (MONTALVO e FALCONE, 1999).

2.2.7.9. Fraturas e luxações vertebrais

Fraturas do corpo vertebral ou fragmentos ósseos comprimindo a medula espinal podem ser vistos como estruturas hiperecoicas com sombra acústica dentro do canal vertebral (KRAMER et al., 2012).

Na medicina humana, cita-se que a ultrassonografia intraoperatória pode ser útil durante a estabilização de fraturas vertebrais, pois permite a visualização do canal vertebral. Sendo assim, possibilita a visualização de fragmentos ósseos em seu interior que possam estar comprimindo a medula, além de permitir a avaliação da magnitude da compressão da medula espinal ou da cauda equina (MONTALVO e FALCONE, 1999). Na medicina veterinária, pode ser usada para confirmar a descompressão após estabilização cirúrgica da coluna vertebral. Além disso, sugere-se que a observação da pulsação medular em modo M, indicativo de presença de circulação na porção de medula espinal avaliada, possa estar relacionada ao prognóstico (NAKAYAMA, 1993).

2.2.7.10. Abscessos epidurais

A utilização da ultrassonografia intraoperatória, em humanos, é importante no tratamento cirúrgico de abscessos epidurais. Eles aparecem como massas ecogênicas focais comprimindo o saco dural, e tanto sua localização extradural, sua extensão no canal espinal e sua relação com a medula normal ficam claramente definidos. A sonografia é particularmente valiosa para localizar abscessos ventrais durante cirurgia. A meningite associada pode ser distinguida de abscesso e aparece como material ecogênico difuso que distende o espaço subaracnóide e substitui o líquido cefalorraquidiano normal anecoico. A ultrassonografia ajuda o cirurgião a planejar a drenagem de abscessos epidurais, monitora esse processo assegurando a descompressão ideal e previne a manipulação desnecessária da medula espinal (MONTALVO e FALCONE, 1999).

2.2.7.11. Hematomas

Hematomas observados ao redor da coluna, causados por trauma, têm aparência de massas amorfas, com margens irregulares, heterogêneas e de tamanhos variados (KRAMER et al., 2012).

2.2.8. Quanto à associação com o prognóstico

Sugere-se que a presença da pulsação da medula espinal em modo M (NAKAYAMA, 1993) ou modo B, e a visualização de vascularização com uso de power Doppler (NANAI et al., 2007) possam ser bons fatores de prognóstico para retorno da função motora.

2.2.9. Quanto ao pós-operatório

Quanto ao exame ultrassonográfico pós-operatório da medula espinal, é citada dificuldade de visualização durante os primeiros cinco dias após a cirurgia, entretanto sua análise torna-se favorecida após o sexto dia. Quatorze dias após a cirurgia, a medula espinal também foi passível de ser identificada em estudo realizado por Nakayama (1993). O mesmo autor observou que, no caso do exame pós-operatório da região cervical após espondilectomia ventral, a visualização da medula espinal foi dificultada pela sobreposição da traqueia e esôfago, mas uma pressão maior com o transdutor permitiu a formação de imagens.

Podem ser observados seromas no local da incisão, que são caracterizados por conteúdo anecoico, margens regulares e finos septos hiperecoicos (KRAMER et al., 2012).

2.3. Outros usos da ultrassonografia no exame do sistema nervoso central de animais

Assim como a medula espinal, o encéfalo dos animais também possui um envoltório ósseo que proporciona uma barreira para propagação das ondas ultrassonográficas. Nesse caso, a ultrassonografia pode ser utilizada após craniotomia para avaliação de lesões cerebrais profundas e, portanto, não vistas imediatamente pelo cirurgião (GALLAGHER et al., 1995).

Adicionalmente, pode ser utilizada para visualização do encéfalo em situações não cirúrgicas, onde a pouca espessura da calota craniana de alguns cães permite a ultrassonografia transcraniana através do osso temporal (SAITO et al., 2001; CARVALHO et al., 2007). Além disso, pode-se realizar o exame ultrassonográfico do

cérebro através das fontanelas abertas (KEALY e McALLISTER, 2000; BURK e FEENEY, 2003).

Outra abertura anatômica não cirúrgica que permite a avaliação do sistema nervoso central em cães é a junção atlanto-occipital, que fornece uma janela ultrassonográfica para investigação da presença de herniação cerebelar pelo forame magno (SCHMIDT et al., 2008).

REFERÊNCIAS

- BESSO, J. Ultrassonografia Abdominal. In: O'BRIEN, R.; BARR, F. (Ed.) **Manual de Diagnóstico por Imagem Abdominal de Cães e Gatos**. São Paulo: Roca, 2012, p. 23-36.
- BURK, R.L.; FEENEY, D.A. **Small Animal Radiology and Ultrasonography**. A Diagnostic Atlas and Text. Philadelphia: Saunders, 2003. p.740.
- CARVALHO, C.F. **Ultra-sonografia em Pequenos Animais**. São Paulo: Roca, 2004. Semiologia ultra-sonográfica, p. 23-30.
- CARVALHO, C.F.; ANDRADE NETO, J.P.; JIMENEZ, C.D.; DINIZ, S.A.; CERRI, G.G.; CHAMMAS, M.C. Ultra-sonografia transcraniana em cães com distúrbios neurológicos de origem central. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 59, n. 6, p.1412-1416, 2007.
- COULSON, A.; LEWIS, N. **An Atlas of Interpretive Radiographic Anatomy of the Dog and Cat**. Oxford: Blackwell Publishing, 2008. p. 664.
- DOHRMANN, G.J.; RUBIN, J.M. Intraoperative ultrasound imaging of the spinal cord: syringomyelia, cysts, and tumors - a preliminary report. **Surgical Neurology**, v. 18, p. 395-399, 1982.
- DOHRMANN, G.J.; RUBIN, J.M. Use of ultrasound in neurosurgical operations: a preliminary report. **Surgical Neurology**, v. 16, p. 362-366, 1981.
- DROST, W.T. Física Básica do Ultrassom. In: THRALL, D.E. (Ed.) **Diagnóstico de Radiologia Veterinária**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2010, p. 38-49.
- FINN-BODNER, S.T.; HUDSON, J.A.; COATES, J.R.; SORJONEN, D.C.; SIMPSON, S.T.; COX, N.R.; WRIGHT, J.C.; GARRETT, P.D.; STEISS, J.E.; VAUGHN, D.M.; MILLER, S.C.; BROWN, S.A. Ultrasonographic anatomy of the normal canine spinal cord and correlation with histopathology after induced spinal cord trauma. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v.1, p. 39-48, 1995.

GALLAGHER, J.G.; PENNINCK, D.; BOUDRIEU, R.J.; SCHELLING, S.H.; BERG, J. Ultrasonography of the brain and vertebral canal in dogs and cats: 15 cases (1988-1993). **Journal of the American Veterinary Medical Association**, v. 207, n.10, p. 1320-1324, 1995.

GALLOWAY, A.M.; CURTIS, N.C.; SOMMERLAD, S.F.; WATT, P.R. Correlative imaging findings in seven dogs and one cat with spinal arachnoid cysts. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 40, n. 5, p. 445-452, 1999.

HENRIQUES, J.G.B.; PIANETTI FILHO, G.; COSTA, P.R.; HENRIQUES, K.S.W.; PERPÉTUO, F.O.L. Uso da ultra-sonografia na triagem de disrafismos espinhais ocultos. **Arquivos de Neuro-psiquiatria**, v. 62, n. 3, p. 701-706, 2004.

IMAMURA, H.; ISU, T.; IWASAKI, Y.; TASHIRO, K.; AKINO, M.; ABE, H. Intraoperative Spinal Sonography. **Neurologia medico-chirurgica** (Tokyo), v. 27, p. 1073-1079, 1987.

IMAMURA, H.; IWASAKI, Y.; HIDA, K.; CHO, H.; ABE, H. Intraoperative Spinal Sonography in the Cervical Anterior Approach. **Neurologia medico-chirurgica** (Tokyo), v. 35, p. 144-147, 1995.

KEALY, J.K.; McALLISTER, H. **Radiologia e ultra-sonografia do cão e do gato**. Barueri: Manole, 2005. p. 436.

KEALY, J.K.; McALLISTER, H. **Diagnostic Radiology and Ultrasonography of the Dog and Cat**. Philadelphia: WB Saunders, 2000. p. 436.

KRAMER, M.; GOLLA, T.; SCHMIDT, M. Intraoperative spinal cord ultrasonography in dogs -limitations & possibilities-. In: 16TH EUROPEAN SOCIETY OF VETERINARY ORTHOPAEDICS AND TRAUMATOLOGY CONGRESS, 2012, Bologna. Proceedings... Bologna: ESVOT, 2012. p. 253-255.

MANNION, P. **Diagnostic Ultrasound in Small Animal Practice**. Oxford: Blackwell Publishing, 2006, p. 344.

- MILLER, B.; MICHAEL, K. Intraoperative Spinal Sonography. A Case Study of Syringomyelia. **Journal of Diagnostic Medical Sonography**, v. 24, n. 4, p. 228-233, 2008.
- MIRVIS, S. E.; GEISLER, F.H. Intraoperative Sonography of Cervical Spinal Cord Injury: Results in 30 Patients. **American Journal of Roentgenology**, v. 155, p. 603-609, 1990.
- MONTALVO, B.M.; FALCONE, S. Sonografia Intraoperatória da Espinha. In: RUMACK, C.M.; WILSON, S.R.; CHARBONEAU, J.W. **Tratado de Ultrasonografia Diagnóstica**. Rio de Janeiro: Guanabara. Koogan, 1999, p. 554-568.
- MONTALVO, B.M.; QUENCER, R.M.; BROWN, M.D.; SKLAR, E.; POST, M.J.D.; EISMONT, F.; GREEN, B.A. Lumbar Disk Herniation and Canal Stenosis: Value of Intraoperative Sonography in Diagnosis and Surgical Management. **American Journal of Roentgenology**, v. 154, p. 821-830, 1990.
- NAISH, C.; MITCHELL, R.; INNES, J.; HALLIWELL, M.; McNALLY, D. Ultrasound imaging of the intervertebral disc. **Spine**, v. 28, p.107-113, 2003.
- NAKAYAMA, M. Intraoperative spinal ultrasonography in dogs: normal findings and case-history reports. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 34, n. 4, p. 264-268, 1993.
- NANAI, B.; LYMAN, R.; BICHSEL, P.S. Intraoperative use of ultrasonography during continuous dorsal laminectomy in two dogs with caudal cervical vertebral instability and malformation (“Wobbler syndrome”). **Veterinary Surgery**, v.35, p. 465–469, 2006.
- NANAI, B.; LYMAN, R.; BICHSEL, P.S. Use of intraoperative ultrasonography in canine spinal cord lesions. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 48, n. 3, p. 254-261, 2007.
- QUENCER, R.M.; MONTALVO, B.M.; EISMONT, F.J.; GREEN, B.A. Intraoperative Spinal Sonography in Thoracic and Lumbar Fractures: Evaluation of Harrington Rod Instrumentation. **American Journal of Roentgenology**, v. 145, p. 343-849, 1985.

QUENCER, R.M.; MONTALVO, B.M.; GREEN, B.A.; EISMONT, F.J. Intraoperative Spinal Sonography of Soft-Tissue Masses of the Spinal Cord and Spinal Canal.

American Journal of Roentgenology, v. 143, p. 1307-1315, 1984.

QUENCER, R.M.; MONTALVO, B.M.; NAIDICH, T.P.; POST, M.J.D.; GREEN, B.A.; PAGE, L.K. Intraoperative Sonography in Spinal Dysraphism and

Syringohydromyelia. **American Journal of Roentgenology**, v. 148, p. 1005-1013, 1987.

QUENCER, R.M.; MORSE, B.M.M.; GREEN, B.A.; EISMONT, F.J.; BROST, P.

Intraoperative Spinal Sonography: Adjunct to Metrizamide CT in the Assessment and Surgical Decompression of Posttraumatic Spinal Cord Cysts. **American Journal of**

Roentgenology, v. 142, p. 593-601, 1984.

REGELSBERGER, J.; FRITZSCHE, E.; LANGER, N.; WESTPHAL, M.

Intraoperative sonography of intra- and extramedullary tumors. **Ultrasound in**

Medicine & Biology, v. 31, n. 5, p. 593–598, 2005.

RUBIN, J.M.; DOHRMANN, G.J. Use of ultrasonically guided probes and catheters in neurosurgery. **Surgical Neurology**, v. 18, p. 143-148, 1982.

RUMACK, C.M.; WILSON, S.R.; CHARBONEAU, J.W. **Tratado de Ultra-**

sonografia Diagnóstica. Rio de Janeiro: Elsevier, 2006. p. 5138.

SAITO, M.; OLBY, N.J.; SPAULDING, K. Identification of arachnoid cysts in the quadrigeminal cistern using ultrasonography. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 42, n.5, p. 435-439, 2001.

SAKANISHI, H.; HOSHI, K.; NAKAJIMA, S.; AKUNE, T.; TAKESHITA, K.;

YAMAMOTO, M.; KAWAGUCHI, H.; NAKAMURA, K.; SEICHI, A. Vertebral hemangioma compressing the thoracic spinal cord: application of computer-aided navigation and intraoperative spinal sonography for surgery through anterior and posterior approaches. **Journal of Orthopaedic Science**, v. 11, p. 294–297, 2006.

SCHMIDT, M.J.; WIGGER, A.; JAWINSKI, S.; GOLLA, T.; KRAMER, M.

Ultrasonographic appearance of the craniocervical junction in normal brachycephalic

dogs and dogs with caudal occipital (Chiari-like) malformation. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v. 49, n. 5, p. 472–476, 2008.

SKLAR, E.; QUENCER, R.M.; GREEN, B.A.; MONTALVO, B.M.; POST, M.J.D. Acquired Spinal Subarachnoid Cysts: Evaluation with MR, CT Myelography, and Intraoperative Sonography. **American Journal of Roentgenology**, v. 153, p. 1057-1064, 1989.

TANAKA, H.; NAKAYAMA, M.; ORI, J.; TAKASE, K. Usefulness of intraoperative ultrasonography for two dogs with spinal disease. **Journal of Veterinary Medical Science**, v.67, n.7, p. 727-730, 2005.

TANAKA, H.; NAKAYAMA, M.; TAKASE, K. Intraoperative ultrasonography in two dogs with spinal disease. **Veterinary Radiology & Ultrasound**, v.1, p. 99-102, 2006.

4. Experimento

Observations on intraoperative ultrasonography of the vertebral canal and structures of the nervous system

Marília de Albuquerque Bonelli, Eduardo Alberto Tudury, Fabiano Séllos Costa, Cássia Regina Oliveira Santos, Bruno Martins Araújo, Camila Cardoso Diogo, Amanda Camilo Silva*

Abstract

Intraoperative ultrasound can provide details on various conditions of the spinal cord and vertebral canal, such as: intervertebral disc disease (IVDD), stenosis of the vertebral canal, vertebral fractures, neoplasia, and foreign bodies in the vertebral canal. Our objective was to evaluate the feasibility, advantages and disadvantages of using intraoperative ultrasound in dogs undergoing spinal surgery. The vertebral canal of 18 dogs was examined with intraoperative ultrasonography. Ten dogs underwent spinal surgery for removal of herniated intervertebral disc material, three for stabilization of vertebral fracture and luxation, three for decompression of cauda equina, and two for removal of vertebral neoplasia. Particular attention was given to signs of cord compression, such as inability to visualize the central canal and unevenness of the hyperechoic lines that represent the meninges and the central canal. We found that intraoperative ultrasonography was feasible and useful in dogs undergoing surgery for spinal cord or cauda equina decompression and fracture stabilization. The use of intraoperative ultrasound for localization of the compressive material was not paramount when a location had been obtained via computed tomography (CT), but it showed alterations in spinal cord parenchyma in four dogs not observed on CT. Furthermore, it successfully confirmed adequate decompression of the spinal cord. Disadvantages were mainly related to scheduling. The principle advantages of intraoperative ultrasonography were: estimation of vascularization and extent of spinal

From the Department of Veterinary Medicine, Federal Rural University of Pernambuco, R. Dom Manoel de Medeiros, s/n, 52171-900 Recife, Brazil.

Financial support: National Council for Scientific and Technological Development (CNPq), Brazil

Some of the images and data in this paper were presented as a poster at the X Brazilian Congress of Veterinary Surgery and Anesthesia, Florianópolis, Brazil, Nov 1-4, 2012.

Address correspondence and reprint requests to: Marília Bonelli, at Av. dos Pinheirais, 1346, 59080-250, Natal, Brazil. E-mail: mariliabonelli@yahoo.com

cord lesion. Most importantly, it allowed real time evaluation of the spinal cord and conditions related to the vertebral canal, which permits modification of the surgical procedure.

Keywords: neurology, ultrasound, spinal cord

Introduction

Ultrasonography is considered one of the best options for direct intraoperative observation of the vertebral canal and spinal cord regarding the presence of alterations¹. It is a non-invasive technique, with no contra-indications. Among its advantages are lower general cost, fast scanning time, and mobility of the equipment, which can be taken to the patient and which cannot be done with magnetic resonance, for example². Due to its bony cover, intraoperative ultrasound of the spinal cord must be performed after procedures such as ventral slots, laminectomies or hemilaminectomies³.

In veterinary medicine, intraoperative ultrasound can provide details on various conditions of the spinal cord and vertebral canal⁴, but it is used mainly in situations where there is spinal compression, such as: intervertebral disc disease (IVDD), stenosis of the vertebral canal, vertebral fractures, and foreign bodies in the vertebral canal⁵.

Our objective was to evaluate the feasibility, advantages and disadvantages of using intraoperative ultrasound in dogs undergoing spinal surgery due to intervertebral disc disease, vertebral fractures/luxations, vertebral neoplasia, and cauda equina decompression.

Materials and Methods

The vertebral canal of 18 dogs was examined with intraoperative ultrasonography between October, 2011 and October, 2012. The dogs underwent spinal surgery for removal of herniated intervertebral disc material, reduction and stabilization of vertebral fractures/luxations, decompression of cauda equina, or removal of neoplasia. Gray-scale ultrasound images were obtained for all 18 dogs, and color Doppler was used in 14 of these dogs. All procedures were approved by the Ethics Committee of the Federal Rural University of Pernambuco – UFRPE (Protocol 008/2012)

Preparation of the surgical site

Six laminectomies and twelve hemilaminectomies were performed to allow

visualization of the vertebral canal. Rongeurs were used to remove bone. Choice and extension of the bony defect was dependent upon necessity and determined by the surgeon. Once an adequate window was obtained, the area was lavaged and filled with sterile saline to allow ultrasonographic evaluation.

Preparation of the transducer

An 8 MHz convex transducer (MyLab 30 GOLD CV, Esaote, Genoa, Italy) was used in all dogs. A section of the transducer cable closest to probe (approximately one third of the cable) was wrapped in sterile aluminum foil, then covered with a sterile cotton cover made from reusable surgical drapes, and tied off at both ends. The transducer head was then covered with two sterile surgical gloves lined with sterile ultrasound gel and tied off with gauze or elastic wrap. The orientation of the transducer was checked by running a gloved finger over the covered probe.

Ultrasonographic examination

The surgical field was filled with warm sterile saline, and the transducer head (within the sterile gloves) was immersed into the liquid. Sagittal and oblique sagittal images of the spinal cord were obtained in B-mode through the laminectomy and hemilaminectomy windows, respectively. Transverse images were also obtained in fifteen dogs, and color Doppler was used in fourteen dogs.

Data regarding the characteristics of the spinal canal, spinal cord or cauda equina, and eventual abnormalities were recorded. Ten dogs presented with intervertebral disc extrusion. Following hemilaminectomy, they were examined for signs of spinal compression (namely; inability to visualize the central canal and unevenness of the hyperechoic lines that represent the meninges and central canal), presence of material within the vertebral canal, spinal echogenicity, and vascularization.

Three dogs were submitted to surgery for stabilization of fracture and luxation of the thoracolumbar spine between T₁₁-L₆. They were evaluated for signs of spinal compression, alignment of the floor of the vertebral canal, presence of bone fragments within the vertebral canal, and vascularization.

Three dogs presented with chronic pain and neurological deficits following previous fracture and luxation of the lumbosacral spine (L₇-S₁) and underwent surgery for decompression of cauda equina. They were examined for the presence of fragments within the vertebral canal, alignment of the floor of the vertebral canal at L₇-S₁, and

visualization of the nerve roots or conus medullaris.

Two dogs presented with signs of progressive spinal cord compression. After a presumptive diagnosis of neoplasia, they were submitted to surgery for decompression and biopsy.

Results

Intraoperative ultrasonography was able to provide information regarding the vertebral canal and spinal cord in 15 dogs and regarding the vertebral canal at the region of the cauda equina in three dogs.

Intervertebral disc extrusion

Intervertebral disc material within the vertebral canal was observed as a hyperechoic, heterogenous, amorphous mass. Material was observed ventrally in relation to the spinal cord in four of the ten dogs. In the other six dogs, the material was seen on the surgical opening (between the transducer and the spinal cord).

Spinal cord compression, as characterized by inability to visualize the central canal and/or deviation of the parallel hyperechoic lines representing the dura mater, was observed in eight of the ten dogs (Fig 1). In six of the dogs where the central canal had been only partially identified initially, it was better observed after removal of the disc material (Fig. 2).

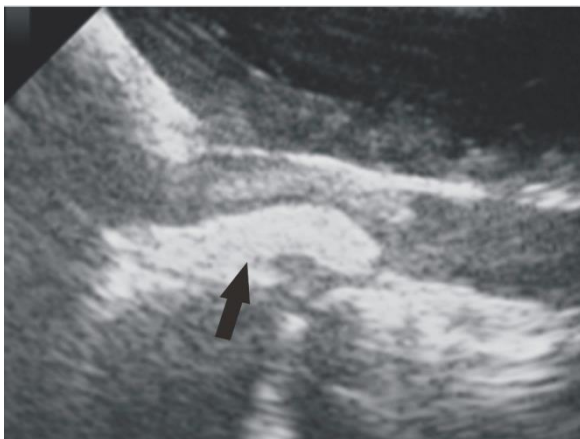


FIG. 1. Sagittal ultrasonographic view following hemilaminectomy at L₂₋₃ showing an extruded intervertebral disc (arrow) in dog 5. Note the hyperechogenicity present at the area of spinal cord compression, deviation of the ventral meningeal line, and inability to clearly visualize the central canal.

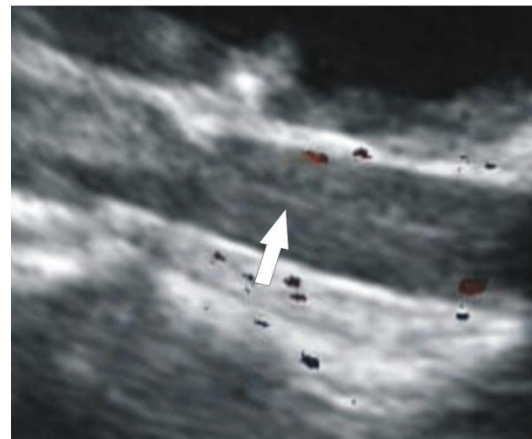


FIG. 2. Same dog as Fig. 1, after removal of the extruded disc material. The central canal (arrow) is visible just caudal to the still present hyperechoic area. At the moment of image capture, color Doppler is not showing any intramedullary vessels.

In one dog where the central canal had not been visualized, it was partially visualized after removal of the disc material. There was no second ultrasonographic examination in three dogs.

Residual disc material was discovered in three of the ten dogs after extension of the hemilaminectomy. In two dogs, disc material not observed ultrasonographically was still present after the second examination. Detailed findings for each dog are outlined in Tables 1 and 2.

TABLE 1. Initial Findings During Intraoperative Ultrasonographic Exam in Ten Dogs With Intervertebral Disc Extrusion. Site of Extrusion and Preoperative Nociception are Also Listed.

Dog	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Visualization of central canal	Yes*	Yes	Yes*	No	Yes*	Yes*	No	Yes*	Yes*	Yes
Parallel dural lines	No	Unclear	Unclear	No	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Unclear
Position of disc material in relation to the spinal cord	Ventral	Ventral	Ventral	Lateral†	Ventral	Lateral†	Lateral†	Lateral†	Lateral†	Lateral†
Spinal cord echogenicity	Normal	Normal	Abnormal (HA‡)	Abnormal (HA‡)	Abnormal (HA‡)	Normal	Normal	Normal	Normal	Abnormal (HA‡)
Vascularization seen with color Doppler	N/A§	Yes	N/A§	Yes	Yes	No	No	N/A§	No	Yes
Presence of deep pain	No	Yes	Yes	No	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Site of extrusion	T ₁₂₋₁₃	C ₄₋₅	C ₂₋₃	L ₂₋₃	L ₂₋₃	L ₂₋₃	T ₁₂₋₁₃	T ₁₁₋₁₂	T ₁₂₋₁₃	T ₁₂₋₁₃

* partially; †at the hemilaminectomy opening; ‡ hyperechoic area; § not available

TABLE 2. Intraoperative Findings During Second Ultrasonographic Exam in Ten Dogs With Intervertebral Disc Extrusion.

Dog	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Visualization of the central canal	Yes	N/A§	N/A§	Yes	Yes	N/A§	Yes*	Yes	Yes	Yes
Parallel dural lines	Yes	N/A§	N/A§	Yes	Yes	N/A§	Yes	Yes	Yes	Yes
Residual disc material	No	N/A§	N/A§	No	No	N/A§	No	No	No	No
Vascularization seen with color Doppler	N/A§	N/A§	N/A§	Yes	Yes	N/A§	Yes	Yes	No	Yes

* partially; § not available

In one instance (Dog 9), the hemilaminectomy was mistakenly done at T₁₃-L₁. When no signs of compression nor disc material appeared on ultrasound examination, the hemilaminectomy was extended to T₁₂₋₁₃. At this new

location, disc material was present and the central canal was less defined at the site of disc extrusion.

Fracture/luxation of the thoracolumbar spine

There was malalignment of the vertebral floor in all three dogs prior to stabilization. In two dogs, vascularization was observed with the use of color Doppler in the section of spinal cord that appeared to be normal, just cranial to the site of the fracture, where a hyperechoic image obliterated the view of the spinal cord (Fig. 3).

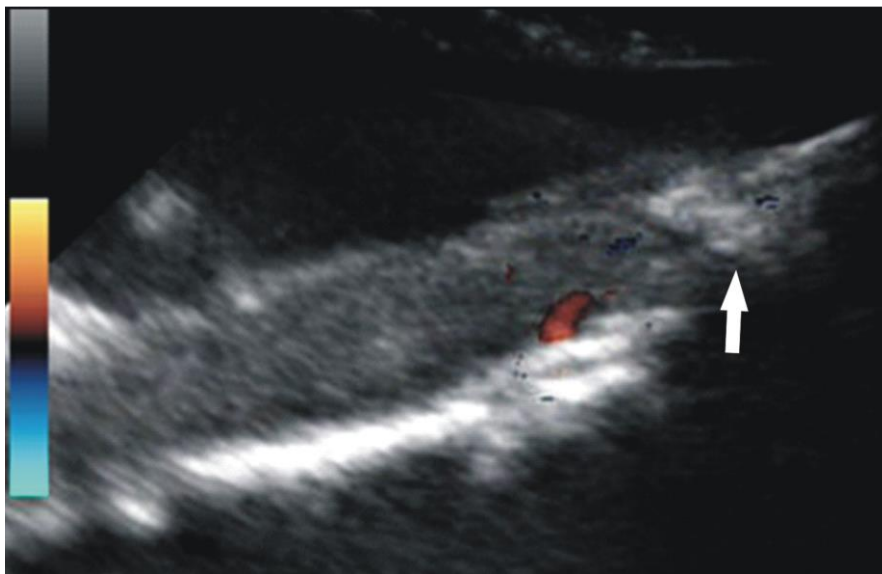


FIG. 3. Sagittal ultrasonographic image of the spinal cord of a dog with a T₁₁₋₁₂ fracture following laminectomy. Note the heterogenous hyperechoic image identified as fibrosis (arrow) caudal to the hypoechoic spinal cord. In red, vascularization seen with color Doppler.

No bone fragments were identified within the vertebral canal, though visualization of the caudal portion of the exposed area was impaired by the presence of fibrosis. There were no abnormalities in the echogenicity of the spinal cord cranial to the fractured vertebrae in two dogs, but the third had a hyperechoic area just cranial to the fracture site. Findings are listed in Table 3.

Neoplasia

The first dog had a loss of bone density seen at the level of L₅ on radiographic examination. On ultrasound, the vertebrae in question appeared hypoechoic, allowing the passage of sound waves through the bone and subsequent visualization of the

cancellous bone within the vertebral body. There was also a dorsal curvature of the floor of the vertebral canal at this point, with dorsal dislocation of the spinal cord (Fig. 4).

TABLE 3. Intraoperative Ultrasonographic Findings in Three Dogs With Fracture/luxation of the Thoracolumbar Spine After Decompression and/or Reduction and Stabilization.

Dog	1	2	3
Presence of bone fragments	No	No	No
Floor of the vertebral canal	Deviation	Slight deviation	Level
Spinal cord echogenicity	Normal	Normal	Abnormal (hyperechoic area caudally)
Parallel dural lines	No	Yes, until fibrosis	Narrows towards fibrosis
Visualization of the central canal	No	Yes, until fibrosis	No
Vascularization seen with color Doppler	N/A	Yes, until fibrosis	Yes, until fibrosis
Time since trauma	7 days	8 days	20 days
Fracture/luxation site	T ₁₂	L ₅₋₆	T ₁₁₋₁₂
Presence of deep pain	No	No	No

N/A, not available



FIG. 4. Sagittal ultrasonographic image of the spinal cord after laminectomy at L₅, showing the spinal cord as it is dislocated dorsally by an altered and hypoechoic vertebral body due to neoplasia. Note that the central canal is no longer visible directly over the compression.

After removal of most of the material, a second ultrasonographic examination showed that part of the altered tissue remained below the spinal cord. There was less of

a dorsal dislocation of the spinal cord. Biopsies were collected and histopathology confirmed a diagnosis of osteoblastic osteosarcoma.

The second dog showed a dislocation of the spinal cord, and the image was consistent with a mass within the vertebral canal on contrast CT. The greatest compression was located at L₂. After hemilaminectomy, a mass was seen at the site of the defect, in contact with the spinal cord. On ultrasound, an elongated heterogeneous mass was observed over the spinal cord. No significant deviation of the hyperechoic limits of the spinal cord were observed.

Cauda equina

Visualization of the cauda equina was impaired by the presence of fibrosis around the nerve roots in all three dogs and was characterized as an amorphous, heterogenous, hyperechoic mass. In one dog, thin hypoechoic roots were observed within the fibrosis. Ultrasound allowed identification of the vertebral canal and its malalignment in all three dogs. The conus medullaris was observed in one of the dogs. Details are listed in Table 4.

TABLE 4. Intraoperative Ultrasonographic Findings in Three Dogs After Decompression of Cauda Equina.

Dog	1	2	3
Floor of the vertebral canal	Deviation	Deviation	Slight deviation
Visualization of conus medullaris / cauda equina	No	Yes	Yes
Presence of fibrosis	Yes	Yes	Yes
Time since trauma	1 month	11 months	1 month

Discussion

Intraoperative ultrasonography was performed in 18 of 34 dogs that underwent spinal surgery during this experiment. Of the 16 dogs not included in the experiment, five had vertebral fracture and/or luxation that was reduced and stabilized without a laminectomy or hemilaminectomy, making intraoperative ultrasound impossible. The other 11 did not enter the experimental group due to scheduling conflicts related to availability of either the ultrasound device or qualified imaging personnel.

The surgical team's principal concern was that use of intraoperative ultrasound would increase both duration of the surgical procedure and risk of infection. Preparation

of the transducer was synchronized with the start of the surgical procedure so as to avoid delay. Also, even though the ultrasonographic examinations did increase surgical time, each exam was approximately 8 ± 3 minutes long, which was considered acceptable by the surgeons. Furthermore, none of the dogs in this study developed post-operative infections, indicating that the aseptic measures were sufficient.

Previous reports have indicated that transverse images can be difficult to obtain on some occasions because of the size of the transducer relative to the surgical site^{5,6}. During a pilot study, there was often difficulty positioning a linear transducer (4.5 cm in length) so as to produce a transverse image of the spinal cord through the small hemilaminectomy site. Therefore, for this experiment, a convex transducer was selected for its smaller size and better fit into the operative site. In cases where a laminectomy was performed, we found that it allowed greater mobility of the transducer and did not restrict the access and angulation of the transducer as in the case of a hemilaminectomy. Positioning was more complicated in smaller dogs, but sagittal views were possible in all dogs. The use of elastic wrap for fastening the surgical gloves to the transducer facilitated maneuverability within the surgical field because the knotted gauze added bulk to the ensemble.

Intraoperative ultrasound enabled identification of the spinal cord and provided information on compression, decompression, and echogenicity, particularly by allowing visualization of the dura mater, central canal and vascularization (with the use of Doppler). This was consistent with previous reports^{3,5,6}.

Signs of spinal compression were defined as the absence of the subarachnoid space and central canal³ and uneven echogenic lines representing the dura mater. When a second visualization was possible, the presence of the central canal, parallel lines and vascularization were considered to be indicative of adequate decompression.

In six dogs, the material responsible for compression of the spinal cord was located laterally within the vertebral canal, in a position that made it immediately visible and sometimes externalized as soon as the hemilaminectomy was created. This may justify the absence of signs compatible with a severe compression of the spinal cord on ultrasonographic examination in some cases. Under these circumstances, the window provided by the hemilaminectomy allowed for some degree of accommodation of the material and thus relieved its pressure on the spinal cord.

In the two cases with disc extrusion in which residual disc material found by the surgeon was not observed ultrasonographically, there was either a small amount of

material or it was located near the edge of the hemilaminectomy. Because rongeurs were used for creating the hemilaminectomy defect, the uneven edges may have interfered with the visualization of material near those edges. Furthermore, a small amount of disc material was not readily observed in one case when there was no deviation of the parallel lines that define the spinal cord.

We are reluctant to speculate what the clinical significance of this residual disc material was, given that most of the signs associated with adequate decompression of the spinal cord were observed^{3,4,7}. Furthermore, visualization of circulation (with color Doppler), central canal, and parallel lines representing the meninges, all compatible with adequate decompression of the spinal cord, have been identified in the presence of residual disc material after surgical decompression and removal of the greater part of extruded disc material⁵. Other observations related to decompression of the spinal cord such as pulsation of the spinal cord on M-mode³ and on B-mode⁷ were not investigated in this study.

The presence of circulation as seen on Doppler, which has also been considered a sign of decompression of the spinal cord⁷ was not observed in all dogs in this study. Observations with Doppler were not performed after decompression in four of the dogs. Three of them were unstable at the time, and a decision was made not to prolong anesthesia for a second ultrasonographic examination. The fourth dog had neither a first nor second view using color Doppler because it was not available at the time. Of the six dogs on which color Doppler was used during the second ultrasound, only one had no visible circulation, even though it had nociception. This may be because the surgical field did not allow for proper positioning of the transducer at an angle required for an adequate reflection of the sound waves off the blood cells circulating in the vessels of the spinal cord.

Preoperative CT or magnetic resonance imaging (MRI) can help locate the site and side of disc extrusion and suggest the extent of the surgical opening, but intraoperative ultrasound is currently the only available method in veterinary medicine for providing real-time observations which may alter the surgical procedure. The use of intraoperative ultrasound for localization of the compressive material was not paramount when a specific location had already been obtained via CT (7 of 10 dogs), specifically when the material was located laterally and easily visualized after hemilaminectomy. When material was located ventral to the spinal cord, ultrasonographic examination prior to its removal was more beneficial because the

surgeon was not otherwise able to observe the material. It also showed alterations in the spinal cord parenchyma that had not been observed on CT.

With regards to its influence on decision-making during surgery, intraoperative ultrasound was more valuable when the cause of compression was hidden from the surgeon's view by the spinal cord. In this experiment, the approach was done on the side of the extrusion in all lateral disc extrusions, and no compressive material was present on the other side of the spinal cord. In one case, intraoperative ultrasound showed signs compatible with a slight disc protrusion (convex shape pushing the ventral limits of the spinal cord dorsally), which substantiated the surgeon's decision to fenestrate that disc. Even in the cases where there was no compression on the far side of the spinal cord, intraoperative ultrasound contributed to the overall procedure because it showed there was no compression on the other side of the spinal cord and outside the immediate view of the surgeon, thus reducing the amount of manipulation and reducing the risk of any injuries to the spinal cord. Most importantly, intraoperative ultrasound successfully confirmed adequate decompression of the spinal cord in all seven dogs examined a second time.

As for the three dogs on which no second ultrasound examination was performed, one had severe bleeding and required the use of a hemostatic absorbable gelatin sponge, which appeared as a hyperechoic material that impeded the view of the spinal cord. This is similar to previous descriptions of gelatin powder⁸. Bleeding interfered with visualization of the structures within the vertebral canal⁹, but it was not considered an impediment because it was able to be controlled.

In the dogs with vertebral fractures, dislocation of the vertebral canal and inability to visualize vascularization with Doppler were considered indicative of a poor prognosis for neurological recovery, though a clear relationship between ultrasonographic findings and prognosis has not been established. In fact, imaging diagnostics can only go so far in reflecting the neurological conditions of the patient. For example, one study reported two dogs that, with a dislocation of over 100% of the vertebral canal and presence of deep pain, recovered ambulation¹⁰. Furthermore, ambulation in the absence of deep pain perception, also known as spinal walk, should be taken into consideration when discussing prognosis. One dog in this study recovered some degree of ambulation 120 days after surgery but without nociception, which is consistent with spinal walk.

In the two cases of thoracolumbar fracture surgery in which color Doppler was

used, we confirmed vascularization of the spinal cord up to the site of the fracture and a lack of circulation immediately caudal to that area, suggesting necrosis of that section of the spinal cord. Visualization of circulation cranial to that point suggested that the angulation of the transducer was adequate for reflection of the sound waves off blood cells in motion (the Doppler effect) and was thus reliable in detecting a lack of vascularization past the lesion site. This was also supported by the neurological exam, which indicated a lack of nociception caudal to that location.

In the second dog, the spinal cord was seen on transverse images up to the point where it disappeared completely, substituted by a hyperechoic heterogeneous image consistent with the presence of fibrosis. This confirmed the observation made by the surgical team that the spinal cord had been transected.

None of the three dogs with thoracolumbar fracture/luxation had images compatible with the presence of bony fragments within the vertebral canal, namely hyperechoic structures with acoustic shadowing¹¹.

In both dogs that underwent surgery due to compression of the spinal cord by neoplasia, intraoperative ultrasound was able to identify that there was no involvement of the spinal cord. Thus the neoplasia could be dissected from the spinal cord and meninges. In the first dog with neoplasia, the decision not to remove more of the vertebral body, even though altered tissue was still seen on ultrasound was due to the risk of generating more instability.

In the second dog with neoplasia, no sign of spinal compression was seen on ultrasound, even though a compression was observed on CT. This suggested that the hemilaminectomy itself, when performed directly over the compressing agent, was sufficient to allow exteriorization of the neoplasia, resulting in some degree of decompression. The same was observed when extruded disc material was found exactly at the site of the hemilaminectomy.

The presence of fibrosis in the three dogs that underwent surgery for decompression of cauda equina is consistent with fracture/luxation healing at L₇-S₁ (occurred between 1 and 11 months previously). Intraoperative ultrasound was able to confirm that fibrosis had encompassed the whole of the vertebral canal and, thus, the cauda equina, though the nerve roots were not clearly identifiable.

The ultrasonographic appearance of the cauda equina has been described in humans,¹² and, although a pilot study produced images considered to represent the normal cauda equina in dogs, those same images could not be reproduced in these three

animals. In the second dog, hypoechoic “tracts” were observed longitudinally adjacent to the fibrotic tissue on sagittal view. The tracts were thought to be the cauda equina, but confirmation was not obtained because the surgeons opted not to dissect the fibrosis away from the nerve roots for fear of worsening the patient’s neurological status. Therefore, decompression of the cauda equina was attempted via a dorsal laminectomy of the affected area; complete removal of the fibrosis, however, was not possible due to difficulty in isolating the nerve roots. The surgeons did not have a clear view of the vertebral canal, and intraoperative ultrasound was able to show the uneven floor of the canal and the fibrous tissue, which encompassed the whole of the vertebral canal and, consequently, the nerve roots. The value of intraoperative ultrasound during surgical management of cauda equina syndrome requires further investigation because the surgeon can usually examine the entire vertebral floor macroscopically.

Four of the dogs (three with extruded disc and one with a thoracolumbar fracture) had a hyperechoic area in the spinal cord near the site of the lesion. The alteration may have been consistent with hemorrhage, due to its echogenicity, or focal myelomalacia³.

One of the greatest obstacles in performing intraoperative ultrasonography was scheduling use of the device. It can be accomplished by planning and dialogue¹³, but emergency surgical procedures were more difficult to accommodate than those planned in advance. By having a member of the surgical team perform the ultrasound during surgery, the scheduling problems were primarily due to availability of the ultrasound device rather than to the ultrasonographer.

A previous report using a teaching model in human medicine has suggested that some degree of knowledge can be obtained regarding the ultrasonographic appearance of the vertebral canal after short sessions. Surgeons (with no particular experience in ultrasonography and independent of surgical experience) were able to recognize several degrees of vertebral canal stenosis¹⁴.

A pilot study using seven cadavers was conducted as training for this research and was found to be adequate in familiarizing the operator with the normal anatomy of the spinal cord and vertebral canal. Fat and bone fragments were inserted into the vertebral canal to mimic possible alterations. We found that this was sufficient to allow a basic understanding of the vertebral canal and spinal cord in its normal state, but there was still a learning curve to identification of alterations. For this reason, an experienced ultrasonographer was present and aided in identifying the alterations during the spinal

surgeries.

Intraoperative ultrasonography was feasible and able to contribute information during surgery for spinal cord or cauda equina decompression and for fracture reduction and/or stabilization. Disadvantages were mainly related to scheduling. Availability of the device, the necessity of a veterinarian with knowledge of the device, and availability of sterile gel were factors that hindered this form of examination. Sterilization of ultrasound gel and training of members of the surgical team to perform the exam would facilitate the use of intraoperative ultrasound. Overall, however, none of these disadvantages outweighed its potential contribution to the surgical procedure.

The principle advantages of intraoperative ultrasonography were: mobility of the device, which can be taken to the operating room; lack of ionizing radiation; no need for contrast administration; and an established technique for its use. It also permitted an estimate of vascularization and extent of the spinal cord lesion. Most importantly, it allowed real time evaluation of the spinal cord and conditions related to the vertebral canal, which permitted modification of the surgical procedure.

REFERENCES

1. Galloway AM, Curtis NC, Sommerlad SF, Watt PR. Correlative imaging findings in seven dogs and one cat with spinal arachnoid cysts. *Vet Radiol Ultrasound* 1999;40:445–452.
2. Naish C, Mitchell R, Innes J, Halliwell M, McNally D. Ultrasound imaging of the intervertebral disc. *Spine* 2003;28:107-13.
3. Nakayama M. Intraoperative spinal ultrasonography in dogs: normal findings and case-history reports. *Vet Radiol Ultrasound* 1993;4:264–268.
4. Tanaka H, Nakayama M, Ori J, Takase K. Usefulness of intraoperative ultrasonography for two dogs with spinal disease. *J Vet Med Sci* 2005;67:727–730.
5. Nanai B, Lyman R, Bichsel PS. Use of intraoperative ultrasonography in canine spinal cord lesions. *Vet Radiol Ultrasound* 2007;48:254–261.
6. Tanaka H, Nakayama M, Takase K. Intraoperative ultrasonography in two dogs with spinal disease. *Vet Radiol Ultrasound* 2006;1:99–102.
7. Nanai B, Lyman R, Bichsel PS. Intraoperative use of ultrasonography during continuous

dorsal laminectomy in two dogs with caudal cervical vertebral instability and malformation (“Wobbler syndrome”). *Vet Surg* 2006;35:465–469

8. Quencer RM, Montalvo BM. Normal intraoperative spinal sonography. *AJR* 1984;143:1301–1305.

9. Kramer M, Golla T, Schmidt MJ. Intraoperative sonography for examination of disk extrusion in the dog. *Tierarztl Prax* 2011;39:397-403.

10. Araújo et al. Recuperação funcional de dois cães com fratura e luxação vertebral torácica caudal com 100% de deslocamento do canal vertebral. *Proceedings of the X Brazilian Congress of Veterinary Surgery and Anesthesiology, Florianópolis, 2012.*

11. Kramer M, Golla T, Schmidt MJ. Intraoperative spinal cord ultrasonography in dogs - limitations & possibilities-. *Proceedings of the 16th European Society of Veterinary Orthopaedics and Traumatology Congress, Bologna, 2012.* p. 253-255.

12. Montalvo BM, Falcone S. Sonografia Intraoperatória da Espinha. In: Rumack CM, Wilson SR, Charboneau JW (eds). *Tratado de Ultra-sonografia Diagnóstica*. 2nd ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999:554-568.

13. Gallagher JG, Penninck D, Boudrieau RJ, et al. Ultrasonography of the brain and vertebral canal in dogs and cats: 15 cases (1988–1993). *J AmVet Med Assoc* 1995;207:1320–1324.

14. Fritz T, Klein A, Krieglstein C, et al. Teaching model for intraoperative spinal sonography in spinal fractures. An experimental study. *Arch Orthop Trauma Surg* 2000;120:183–187.